

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Robertas Šimaitis

ENERGIŠKAI EFEKTYVAUS PASTATO MODELIAVIMAS

ENERGY-EFFICIENT BUILDING MODELING

Baigiamasis magistro darbas

Statybos valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

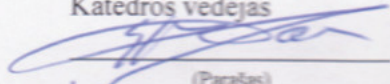
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas


(Parašas)

prof. Edmundo K. Zandzkes

(Vardas, pavardė)

(Data)

Robertas Šimaitis

ENERGIŠKAI EFEKTYVAUS PASTATO MODELIAVIMAS

ENERGY-EFFICIENT BUILDING MODELING

Baigiamasis magistro darbas

Statybos valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

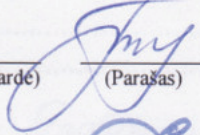
Statybos technologijų ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Tatjana Vilutienė

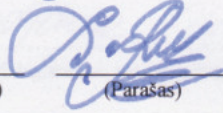
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

2014-06-10
(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Lina Rutkienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)

2014-06-03
(Data)

Vilnius, 2014

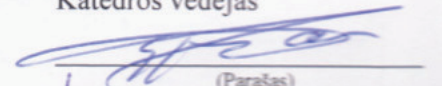
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Statybos valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)
prof. Edmundas K. Zavadskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2012 09 19 Nr. 121

Vilnius

Studentui (ei) Robertui Šimadėviui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Energetikai efektyvaus pastato model-
avimas

patvirtinta 2013 m. lapkričio 7 d. dekanų potvarkiu Nr. 572 st.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2014 m. 06 09 d.

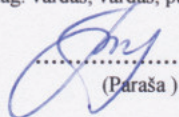
BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Simuliuoti energetikai efektyvų pastatą ir tai-
kiant kelių lygių vertinimo metodus nustatyti
racionalius energetikai efektyvaus pastato alterna-
tyvas, patikrinti hipotezę dėl architektūrinių spren-
dinių įtakos šilumos energijos suvartojimui
pastate.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

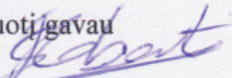
Vadovas


(Paraša)

doc. dr. Vytislavas Mikulėnas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau



(Parašas)

Robertas Šimadėvis

(Vardas, pavardė)

2012 09 19

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos technologijos ir vadybos katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Energiškai efektyvaus pastato modeliavimas**

Autorius **Robertas Šimaitis**

Vadovas **doc. dr. Tatjana Vilutienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Magistro baigiamojo darbo tikslas – sumodeliuoti energišškai efektyvų daugiabutį pastatą. Šį darbą sudaro įvadas, trys pagrindiniai skyriai ir išvados. Pirmajame skyriuje atlikta literatūros analizė, kuria buvo siekiama apžvelgti visas energinį efektyvumą didinančias priemones. Analizuotos fazių kaitos medžiagų panaudojimo ir pritaikymo galimybės. Antrąjį skyrių sudaro modernizacijos projektų apžvalga, kuriais siekiama padidinti neatnaujintų pastatų efektyvumą. Trečiasis skyrius – tai baigiamojo darbo tiriamoji dalis, kurioje buvo modeliuojami energišškai efektyvūs daugiabučiai pastatai. Buvo sudaryta dvylika išorinių sienų šiltinimo variantų, devyni daugiabučių variantai, iš jų atrinkti keturi sienos šiltinimo variantai ir trys daugiabučių variantai, kurie buvo sumodeliuoti Design Builder programine įranga. Suformuotos alternatyvos, pasirinkti kriterijai vertinantys energetinius, aplinkosauginius bei architektūrinius aspektus ir atliktas daugiatikslis vertinimas. Pagal gautus rezultatus sudaryta prioritetų eilutė, atrinktas optimalus, energišškai efektyvus daugiabutis variantas. Darbo apimtis – 68 psl. be teksto priedų, 40 iliustracijų, 22 lentelės, 29 bibliografiniai šaltiniai, 1 priedas.

Prasminiai žodžiai: Energinis efektyvumas, pastato modeliavimas, Design Builder, energijos taupymas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Construction Technology and Management

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master Graduation Thesis

Title **Energy-efficient building modeling**
Author **Robertas Šimaitis**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Tatjana Vilutienė**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The purpose of the master's final thesis – to model energy-efficient tenement building. The thesis consists of introduction, three main chapters and conclusions. The first chapter contains research of literature for all measures to enhance efficiency of energy. It was analyzed opportunities for use and adaptation of phases change materials. The second chapter includes review of modernization projects, which aim to increase effectiveness of not renewed buildings. The third chapter is explorative part of the final thesis, consisting of energy-efficient tenement building simulation. Twelve different outside borders' thermal insulation and nine tenement buildings options was created and using Design Builder program four of borders thermal insulation and three of tenement building versions was modeled. There were alternatives formulated, criteria for energetic, environmental and architectural aspects chosen and multi-goal evaluation carried out. According to obtained results, all options ranked by priorities and chosen optimal energy-efficient tenement house version. Volume of the final thesis – 68 pages without text appendixes, 40 illustrations, 22 tables, 29 references and 1 appendix.

Keywords: Energy-efficiency, building simulation, Design Builder, energy saving.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų,
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.
1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Robertas Šimaitis, 20121686

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

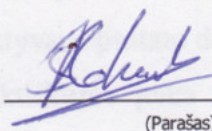
**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2014 m. birželio 2 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Energiškai efektyvaus pastato modeliavimas“ patvirtintas 2013 m. lapkričio 7 d. dekanu potvarkiu Nr. 572st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas doc. dr. Tatjana Vilutienė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Robertas Šimaitis

(Vardas ir pavardė)

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Saulės kolektorius, šildantis vandenį (Ceylan 2012).....	14
2 pav.	Vėjo turbina su trijų menčių sraigtu (Ayhana <i>et al.</i> 2012)	16
3 pav.	Vėjo turbina, įrengta ant stogo (Ayhana <i>et al.</i> 2012)	16
4 pav.	Atvirojo kontūro šilumos mainų sistema su gamybos ir įpurškimo geoterminės šilumos siurbliu (Self <i>et al.</i> 2012)	17
5 pav.	Elektrochrominiai langai (Häkkinen 2012)	19
6 pav.	Vėjo energijos konverteris (Wolff 2010).....	22
7 pav.	Kabamųjų lubų schema (Kuperus 2007)	23
8 pav.	Tuščiavidurių pluoštų panaudojimas (Schuette 2010).....	23
9 pav.	Stogo sluoksniai (Guozhong 2011)	25
10 pav.	Projekto modelis („Inova“ projektas... 2013)	29
11 pav.	Pastato vaizdas prieš renovaciją („Inova“ projektas... 2013)	29
12 pav.	Gamykloje gaminami specialūs skydai („Inova“ projektas... 2013)	30
13 pav.	Iš gamyklos skydai atvežami į statybvieta („Inova“ projektas... 2013)	31
14 pav.	Skydų tvirtinimas prie fasado („Inova“ projektas... 2013).....	32
15 pav.	Sienos konstrukcijos raida renovacijos metu („Inova“ projektas... 2013).....	32
16 pav.	Paroc sienos detalė („Inova“ projektas... 2013).....	33
17 pav.	Savaime nusivalantys stiklai (Savaime nusivalantys... 2013)	35
18 pav.	Energiškai efektyvaus pastato daugiakriteris modelis.....	36
19 pav.	Pastato kompaktiškumo įtaka šildymo energijos poreikiui (Oikos: Green Building Source)	37
20 pav.	Vienbučio pastato celė.....	38
21 pav.	Individualaus namo modelio erdvinis vaizdas (Design Builder).....	38
22 pav.	Individualaus namo modelio erdvinis vaizdas (Design Builder).....	39
23 pav.	1.1a ir 1.1b daugiabučių variantai	40
24 pav.	1.2a ir 1.2b daugiabučių variantai	40
25 pav.	1.3a, 1.3b ir 1.3c daugiabučių variantai.....	41
26 pav.	2.a variantas	42
27 pav.	2.b variantas.....	42
28 pav.	2.c variantas	43
29 pav.	Pastato išorinių atitvarų variantai	44
30 pav.	Pastato išorinių atitvarų variantų kainos.....	46
31 pav.	Šiltnamio efektą sukeliančių dujų poveikis	47
32 pav.	Ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančios dujos.....	47

33 pav.	Pastato padalijimas į zonas	58
34 pav.	1.2b daugiabučio variantas	58
35 pav.	1.3a daugiabučio variantas	59
36 pav.	2.a daugiabučio variantas	59
37 pav.	Pastatui reikalingos energijos poreikis per metus.....	61
38 pav.	ARAS metodu gautų rezultatų atvaizdavimas.....	63
39 pav.	Geriausio varianto 1.2b planas	63
40 pav.	Geriausio varianto 1.2b vizualizacija	64

Lentelių sąrašas

1 lentelė.	Valstybės remiamos daugiabučio namo atnaujinimo (modernizavimo) priemonės (STR 1.12.05:2010)	26
2 lentelė.	Dažniausiai įgyvendinamos daugiabučių gyvenamųjų namų modernizavimo priemonės	27
3 lentelė.	Riihimäki daugiabučio modernizacijos rezultatai: rodikliai prieš renovaciją ir po jos („Inova“ projektas... 2013)	33
4 lentelė.	Bazinio individualaus gyvenamojo namo varianto konstrukcijos	39
5 lentelė.	Kompaktiškumo koeficiento reikšmės	43
6 lentelė.	Atitvarų alternatyvos	44
7 lentelė.	Atitvarų derinių pradinė duomenų matrica.....	46
8 lentelė.	SAW metodu atliktų skaičiavimų rezultatai	48
9 lentelė.	COPRAS metodu atliktų skaičiavimų rezultatai	48
10 lentelė.	TOPSIS metodu atliktų skaičiavimų rezultatai	48
11 lentelė.	ARAS metodu atliktų skaičiavimų rezultatai	49
12 lentelė.	Sienų konstrukcijų alternatyvų palyginimo rezultatų prioritetų eilutės.....	49
13 lentelė.	1.2b daugiabučio varianto aprašymas su silikatiniais blokeliais	50
14 lentelė.	1.2b pastato langų ir durų specifikacijos	52
15 lentelė.	2.a pastato aprašymas su keramzitiniais blokeliais	52
16 lentelė.	2.a pastato langų ir durų specifikacijos	54
17 lentelė.	1.3a pastato aprašymas su keramzitiniais blokeliais	54
18 lentelė.	1.3.a pastato langų ir durų specifikacijos	57
19 lentelė.	Pastatų lyginimo kriterijai	60
20 lentelė.	Projekto išeities duomenys.	60
21 lentelė.	ARAS metodu gauti paskutinio palyginimo rezultatai.....	62
22 lentelė.	SAW metodu gauti paskutinio palyginimo rezultatai.....	62

Turinys

ĮVADAS	12
1. LITERATŪROS ANALIZĖ	14
1.1. Energinis efektyvumas	14
1.2. Saulės energijos pritaikymas	14
1.3. Vėjo pritaikymas	15
1.4. Geoterminis šildymas	16
1.5. Biomasė	17
1.6. Medžiagos	17
1.7. Plastiko naudojimas statyboje	18
1.8. Sienų šiltinimas ir langai	19
1.9. Ekologiški blokeliai, skirti apželdinimui.....	20
1.10. BIM pritaikymas.....	20
1.11. Patentų apžvalga.....	20
1.11.1. Saulės energijos sistema.....	20
1.11.2. Vėjo energijos naudojimas	21
1.11.3. Iš geoterminės energijos gaminama šiluma	22
1.11.4. Fazių kaitos medžiagų panaudojimas	22
1.11.5. Cemento sudėtinių skiedinių formavimas su fazės kaitos medžiagomis ir jo paruošimo būdai	24
1.11.6. Stogo šiluminės izoliacijos konstrukcija su oro kanalais ir fazės kaitos medžiagomis	24
2. MODERNIZACIJOS PROJEKTAI, KURIAIS SIEKIAMA EFEKTYVUMO	26
2.1. Paroc Innova projektas	28
2.1.1. Riihimäki modernizacijos žingsniai.....	30
2.1.2. Sprendimų nauda	31
2.1.3. Skydinės sistemos panaudojimas Lietuvoje	33
2.2. Nanotechnologijų pritaikymas langų paviršiui	34
2.3. Savaimė nusivalantis stiklas	34
3. ENERGIŠKAI EFEKTYVAUS PASTATO MODELIAVIMAS	36
3.1. Modelio formulavimas	36
3.2. Variantų formulavimas	36
3.3. Daugiabučių variantų atranka	43
3.4. Atitvarų derinių formavimas ir analizė.....	44
3.5. Daugiabučių variantų modeliavimas Design Builder programa.....	57

IŠVADOS	65
LITERATŪRA	66
PRIEDAI	69

IVADAS

Didėjant šildymo išlaidoms žmonėms vis svarbesnis tampa šilumos taupymas. Pradėjo keistis požiūris į statinius, jų funkcionalumą ir priežiūrą. Vis didesnis dėmesys skiriamas statiniui ne nuo jo pastatymo, o nuo naujo statinio idėjos sukūrimo. Kartais idėja yra netinkamai įgyvendinama, netinkamai vykdoma statinio statyba. Tokie statiniai būna neilgaamžiai, juos reikia prižiūrėti ir pritaikyti prie naujų reikalavimų. Tokioje situacijoje yra du pasirinkimo variantai: renovuoti arba nugriauti. Nusprendus renovuoti negalima iškelti tik šiandieninius reikalavimus atitinkančius tikslus, reikia žiūrėti į ateitį, į atsiperkamumą. Tad svarbu kreipti didelį dėmesį į atsinaujinančius energijos šaltinius, naujas medžiagas ir technologijas.

Pasak Tylocko, nėra lengva pasirinkti optimalų renovacijos modelį, todėl tam pasitelkiama ekspertų nuomonė. Kaip tipinis programinės įrangos pagrindas į sprendimų priėmimo procesus įtraukti šie dalyviai: suinteresuotosios šalys, ekspertai ir sprendimų priėmimo analitikai. Suinteresuotosios šalys nustato bendrus tikslus ir vertinimo kriterijus, o ekspertai teikia technologines alternatyvas ir tikimybinus vertinimus, palygina su suinteresuotųjų šalių nustatytais kriterijais, suformuotomis alternatyvomis (Tylock *et al.* 2012). Paprastai sprendimai priimami atlikus keletą vertinimų skirtinguose etapuose ir įvairias pjūviais. Tai leidžia palyginti įvairių sprendimų pasekmes.

Šio darbo tikslas – sumodeliuoti energiškai efektyvų pastatą ir taikant kiekybinio vertinimo metodus nustatyti racionalią energiškai efektyvaus pastato alternatyvą, taip pat patikrinti hipotezę dėl architektūrinių sprendimų įtakos šilumos energijos suvartojimams pastate.

Uždaviniai:

1. sukurti pastatų planus naudojantis AutoCAD programa;
2. įvertinti aplinkosauginius rodiklius naudojantis SimaPro programa;
3. palyginti kainas remiantis SISTELA programos duomenimis;
4. sumodeliuoti pastatų modelius įvertinant atitvarų medžiagų charakteristikas naudojantis DesignBuilder programa.
5. Palyginti variantus naudojant SAW (MacCrimmon 1968), COPRAS (Zavadskas, Kaklauskas 1996), TOPSIS (Hwang, Yoon 1981) ir ARAS (Zavadskas, Turskis 2010) metodus.
6. Atlikto tyrimo rezultatai buvo pristatyti 17 jaunųjų mokslininkų konferencijoje ir bus leidžiamas straipsnis, kuris priedamas į priedus.

Šis tyrimas atliktas dalyvaujant projekte „Pastato ir atsinaujinančios energijos tvarumo modelis“, kurį finansuoja Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-03/2012). Tyrimas buvo

įgyvendintas autoriui bendradarbiaujant su Vilniaus Gedimino technikos universiteto Pastatų energetikos katedros studentais.

Norint gauti tikslius ir išsamius rezultatus, buvo atliekami įvairūs tyrimai, naudojant kiekybinius ir kokybinius metodus.

Tiriamąjį darbo eigą buvo pasirinktas tiriamasis objektas, atliekami reikalingi tyrimai, kurių metu buvo apžvelgta statybos sektoriaus rinka, rinkos naujovės. Buvo siekiama su šiuo metu Lietuvos rinkoje esančiomis medžiagomis sukurti energiška efektyvą pastatą. Buvo nustatyta tyrimų veiksmų seka.

- ♦ Surinkta ir išanalizuota literatūra, kuri padės nustatyti ko reikia energiška efektyviam pastatui;
- ♦ Atrinktos medžiagos su tinkamomis charakteristikomis, tenkinančiomis A+ energinės klasės reikalavimus;
- ♦ Modeliuojamas energiška efektyvus B energinės klasės pastatas;
- ♦ Atliekamas palyginimas tarp pasirinktų variantų.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

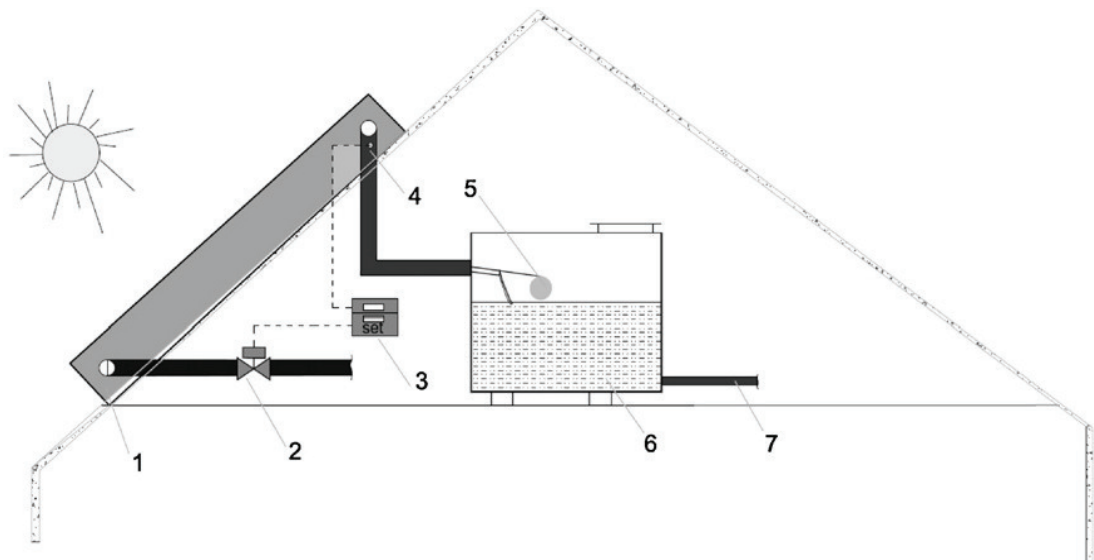
1.1. Energinis efektyvumas

Energiškai efektyvūs namai skirstomi į keturias kategorijas: mažai energijos naudojantys, pasyvieji, nulinės energijos ir energiją gaminantys pastatai (STR 2.01.09:2012). Energijos suvartojimas pastate priklauso ne tik nuo izoliacijos, bet ir nuo keleto kitų dalykų: pastato bendrojo langų ploto, į pastatą patenkančios saulės energijos kiekio, vėdinimo sistemos tipo, pastato orientacijos, pastato naudotojo elgsenos (Motuzienė, Vilutienė 2013). Energetiškai efektyvių pastatų konstrukcijos yra truputį storesnės už įprastinių pastatų konstrukcijas. Pastatas būna kompaktiškesnis nei tradicinis.

Energiškai efektyvaus pastato statybos darbų kainos padidėjimas sudaro 0–5 %, lyginant su standartiniu pastatu (pagal Suomijos techninių tyrimų centro VTT duomenis), ir nekilnojamojo turto rinkoje tokio namo kaina yra apie 10–30 % didesnė už standartinio namo kainą.

1.2. Saulės energijos pritaikymas

Pagal Ceylaną, pasitelkiant šiandienos technologijas saulės energija yra konvertuojama į kelias energijos rūšis tai: elektros energiją, šiluminę energiją, mechaninę energiją. Šiuo metu daugiausia dėmesio sutelkiama į prietaisus, kurie absorbuoja saulės spindulius ir panaudoja juos vandeniui šildyti (žiūr. 1 pav.).



1. Kolektorius. 2.Magnetinis vožtuvas ir šalto vandens tiekimas. 3.Procesų valdymo įranga. 4.Temperatūros jutiklis karšto vandens pašildymui. 5.Srovės kontrolė. 6.Karšto vandens rezervuaras. 7.Karšto vandens išleidimas.

1 pav. Saulės kolektorius, šildantis vandenį (Ceylan 2012)

Trumpai tariant, tai yra įtaisai, kurie pakeičia saulės energiją šilumine energija. Atsižvelgiant į apykaitos būdą jie būna natūralios ir priverstinės cirkuliacijos. Taip pat yra galimybė

juos klasifikuoti, atsižvelgiant į šildymo būdą: tiesioginio šildymo ir netiesioginio šildymo (Ceylan 2012). Anot Vosso, bandomieji projektai parodė, kad saulės energijos taikymas yra naudingas sąnaudų efektyvumo ir energijos taupymo požiūriu. Individualūs sprendimai nuosavų namų ar daugiabučių gyventojams pritaikant saulės energiją renovacijai pabrėžia investicijų naudą. Nauda gali svyruoti tarp energijos taupymo ir padidinto komforto sukuriant pridėtinę vertę. Saulės kolektorių pritaikymas sprendžia ne tik aplinkosauginius klausimus, bet ir kuria vizualiai patrauklų pastato vaizdą. Modernizavus pastatus pasikeičia ir pastatų fasadai, kurie kuria naują rajono įvaizdį (Voss 2000).

Pasak kinų mokslininkų (Zhai *et al.* 2007), saulės energiją galima panaudoti oro kondicionavimui. Iki šiol saulės energija varomos sistemos daugiausia buvo naudojamos tik ledui gaminti. Pritaikant oro kondicionavimui, kada reikalavimai šalto vandens temperatūros palaikymui yra tik apie 6 - 8°C, saulės absorbcijos reiškiniai gali būti pritaikomi nuolatiniam vėsinimui. Skaitmeniniu modeliavimu buvo atlikti tyrimai siekiant ištirti saulės energija valdomas oro kondicionavimo sistemas, kurios energijos gauna nuo paprastose plokštėse esančių saulės kolektorių. Ši technologija gali būti pritaikoma kasdieniniam vartojimui, tačiau esamos saulės aušinimo sistemos negali konkuruoti su elektra ar dujomis varomomis oro kondicionavimo sistemomis. Pagrindinės problemos, su kuriomis susiduria saulės absorbcijos aušinimo sistemos – didelė pradinė kaina, mažas sistemos efektyvumas ir saulės energijos naudojimas tik trumpą laikotarpį (Zhai *et al.* 2007).

Prasauskas (Prasauskas *et al.* 2011) teigia, kad į pastatus integruota saulės energijos panaudojimo technologija vis dar yra naujovė ir kelia susidomėjimą, nes tai pakankamai paprasta technologija, tačiau dar nevisiškai ištirtas jos veikimas. Vis dėlto naujos stogo, fasadų detalių dangos išplės šios technologijos universalumą.

1.3. Vėjo pritaikymas

Anot Saiduro, nuo industrializacijos pradžios energijos suvartojimas didėjo kur kas greičiau nei žmonių skaičius planetoje. Yra žinoma, kad energijos suvartojama stebėtinai daug ir gali tapti neįmanoma tiekti energiją visam pasauliui. Taigi, atsinaujinanti energija turėtų atlikti svarbų vaidmenį reguliuojant aplinkos taršos prevenciją. Nors daugelis šalių rodo didelį susidomėjimą atsinaujinančios arba žaliosios energijos gamyba, dažnai pastebimas neigiamas požiūris į vėjo energiją, o tai gali užkirsti kelią vėjo jėgainėms kai kuriose šalyse (Saidur *et al.* 2011). Ayhana teigia, kad vėjo jėgainės turi būti prieinamos, patikimos, o jų priežiūros ir eksploatacijos kaina ne itin didelė, kad vidutinės pajamas gaunantis žmogus apsvaistytų galimybę jas įsirengti.



2 pav. Vėjo turbina su trijų menčių sraigtu (Ayhana *et al.* 2012)



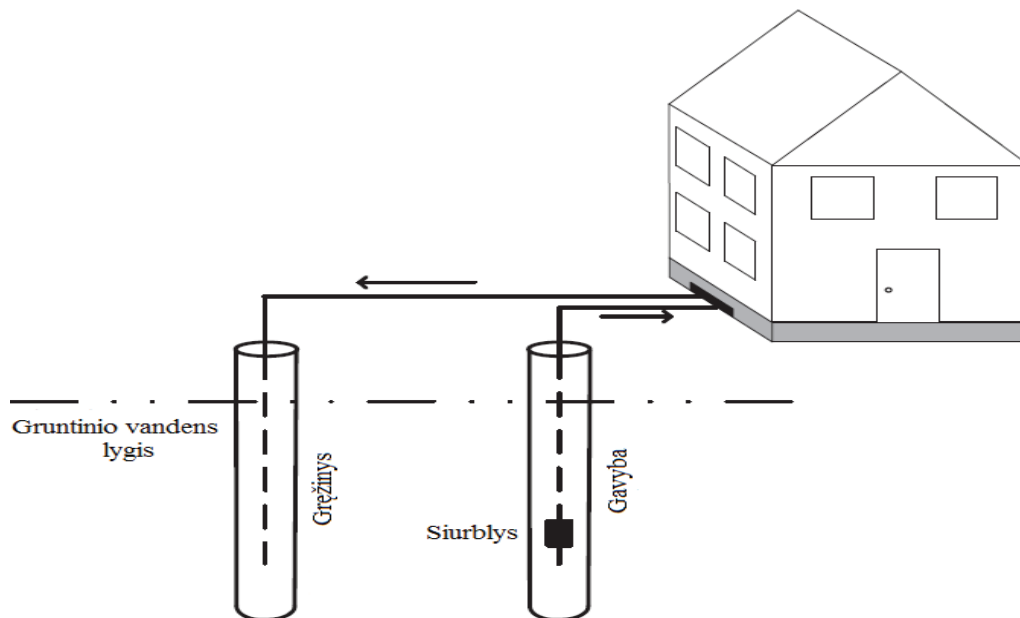
3 pav. Vėjo turbina, įrengta ant stogo (Ayhana *et al.* 2012)

Dažnai mažos vėjo turbinos yra įrengiamos ten, kur vėjas nebūna pakankamai stiprus, bet to užtenka, norint minimaliems poreikiams susigeneruoti elektros energijos (žiūr. 2 pav., 3 pav.). Miestuose vėjo sąlygos skirtingose vietose yra skirtingos, bet dėl slėgių skirtumo ir turbulencijos vėjo jėgainės vis tiek dirba (Ayhana *et al.* 2012).

1.4. Geoterminis šildymas

Geoterminė energija yra energijos forma, gaunama iš Žemės (Keceb 2012). Ši energija yra viena iš švaresnių energijos formų. Šio alternatyvaus energijos šaltinio naudojimas siejamas su nedideliu į atmosferą išmetamų teršalų kiekiu, ši energija teigiamą poveikį mūsų aplinkai ir išstumia labiau teršiančius iškastinį ir branduolinį kurą. Sparčiai augant energijos poreikiui visame pasaulyje geoterminė energija tampa nepaprastai svarbi kai kuriose besivystančiose šalyse. Išgaunant

geoterminę energiją naudojami vamzdžiai karšto vandens ar garų išvedimui į paviršių iš požeminių rezervuarų. Anot Selfo ir kt., geoterminė energija yra naudojama trimis pagrindiniais būdais: elektros energijos gamybai, šildymo sistemoms, netiesioginiam šildymui ir vėsinimui per geoterminius šilumos siurblius (žiūr. 4 pav.).



4 pav. Atvirojo kontūro šilumos mainų sistema su gamybos ir įpurškimo geoterminės šilumos siurbliu (Self *et al.* 2012)

Šie trys procesai atitinkamai naudoja aukštos, vidutinės ir žemos temperatūros išteklius. Aukštos ir vidutinės temperatūros išteklių paprastai yra vandens šiluminių srovių arba uolienu produktas. Žemos temperatūros išteklių yra artimi aplinkos temperatūrai, kurią daugiausia lemia aplinkos oro temperatūra (Self *et al.* 2012).

1.5. Biomasė

Jager-Waldau su kolegomis teigia, jog biomasė – tai visos neišskastinės organinės kilmės medžiagos, kurios turi vidinę cheminę energiją. Tai apima visą vandenį ir sausumos augmeniją, medžius ir visų atliekų biomasę, tokių kaip, kietosios komunalinės atliekos (KKA), savivaldybių nuotekos ir gyvūninės kilmės atliekos (mėšlas), miškininkystės ir žemės ūkio liekanos, ir tam tikrų rūšių pramoninės atliekos. Biomasė yra atsinaujinanti energetika ta prasme, kad per trumpą laiką pakinta į tai, kas yra naudojama kaip energijos išteklis (Jager-Waldau *et al.* 2010).

1.6. Medžiagos

Anot Rodriguez-Ubino, daugumos pastatų naudojama energija yra glaudžiai susijusi su klimato kaitos klausimais ir su mechaninėmis šildymo sistemomis, skirtomis kurti komfortišką

patalpų aplinką. Todėl čia yra puiki galimybė pagerinti pastato energijos vartojimo efektyvumą šildymo ir aušinimo technologijų srityse. Vienas iš būdų sumažinti energijos kiekį, susijusį su šilumos praradimu yra šiluminės energijos kaupimas. Pastatuose šilumos kaupimas, naudojant terminę struktūrinių elementų sudėtį, yra labiausiai paplitęs būdas kaupti šiluminę energiją. Fazių kaitos medžiagų veikimo principai paremti temperatūros pokyčiu (šilumos perdavimu į laikmeną), pavyzdžiui, perduodant į akmenis, plytas ar betoną ir taip sulaikant jo temperatūrą. Toks šilumos laikymo tipas priklauso nuo medžiagos masės ir specifinės šilumos, taip pat temperatūrų skirtumo. Renovuojant ar statant lengvų konstrukcijų statinius ne visada įmanoma naudoti tokias medžiagas, tam prireikia specifinių sprendimų (Rodriguez-Ubin 2012).

Pasak Xingo, viena iš sparčiai populiarėjančių medžiagų yra aerogelis. Aerogelis pastaruosius kelis dešimtmečius buvo tyrinėjamas kaip izoliacinė medžiaga dėl savo mažo terminio pralaidumo. Aerogelinės medžiagos linkusios turėti mažesnę nei $0,013 \text{ W/m}^2\text{K}$ šilumos laidumo koeficientą. Todėl jos atitinka mažiau nei vieną dešimtąją tradicinių izoliacinių medžiagų storio, ir tai pakankamai svarus rodiklis šių medžiagų panaudojimui. Šiuo metu aerogelis pakeitė kitus šiltinimo produktus Jungtinėje Karalystėje. Keli šiluminės izoliacijos sluoksniai paprastai naudojami geresnėms pastato atitvarų šiluminėms savybėms pasiekti. Mokslininkai atlikdami tyrimus panaudojo kelis folijos lakštus tikėdamiesi, kad gali būti pasiekti žemi šilumos perdavimo nuostoliai, remiantis tik folijos atspindėjimo galimybe. Deja, ant folijos lakštų kaupiasi dujos, o tai sumažina atspindėjimo poveikį. Iš atliktų tyrimų nustatyta, kad 19 sluoksnių folijos šilumos laidumas mažesnis nei 200 mm mineralinės vatos. Šiuolaikines statybines medžiagas lengviau transportuoti, atpigusi jų gamyba, tai lemia šiluminės izoliacijos gerėjimą. Tačiau, palyginti su tradicinėmis medžiagomis, daugelis izoliacinių medžiagų yra mažiau atsparios ugniai, o įkaitusios pasižymi toksiškomis savybėmis. Didžiosios dalies naudojamų izoliacinių medžiagų paviršius greitai įkaista, o nuo jo greitai įkaista ir konstrukcija (Xinga *et al.* 2011).

1.7. Plastiko naudojimas statyboje

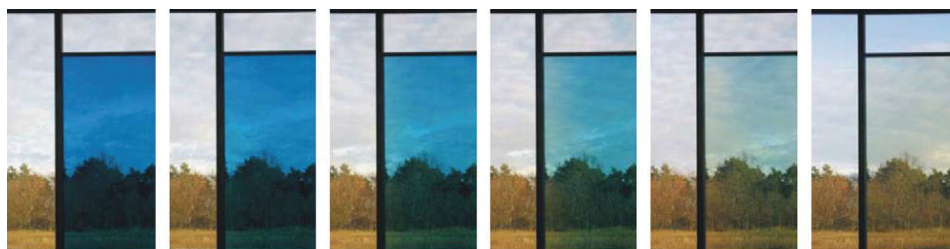
Anot Agarwalo, modernaus, efektyvaus pastato statybai yra keliami įvairūs apribojimai ir daug didesni tikslai. Be patvarumo, komforto, ekonominio efektyvumo ir dizaino, reikia atsižvelgti į energijos vartojimo efektyvumą ir aplinkosaugos problemas. Polimerinės statybinės medžiagos naudojamos kaip pakaitalai tradicinių medžiagų, pavyzdžiui, plytų, betono, metalo, medžio ir stiklo, ir kartu papildo naudojamas tradicines medžiagas. Plastikinės medžiagos yra lengvos, gali būti išgaunamos sudėtingų formų, yra patvarios ir reikalauja mažai priežiūros. Plastikinės medžiagos yra įvairių formų, spalvų ir tekstūrų. Jos atsparios šilumos perdavimo ir drėgmės poveikiui. Polimerinės medžiagos, įskaitant termoplastikus (pvz., polikarbonato stiklas),

reaktoplastikus (pvz., poliuretano putų) ir medienos plastikų kompozitus (WPCs), naudojamos pastatų statybos pramonėje. Su šiomis medžiagomis už nedidelę kainą įgyvendinami novatoriški sprendiniai, tad ateityje, siekiant aukštesnės energinio naudingumo klasės, jos bus naudojamos vis dažniau (Agarwal *et al.* 2011).

1.8. Sienų šiltinimas ir langai

Šią sritį tyrinėjęs mokslininkas Beatensas ir kt. teigia, jog išorinės sienos daro esminę įtaką pastato eksploatavimui. Kuriant naujus pastatų atnaujinimo modelius turi būti atsižvelgta į keletą aspektų. Optimalius sprendimus galima rasti tik analizuojant bendrą pastato efektyvumą, nustatant tikslus ir atsižvelgiant į vietines sąlygas. Optimalių sprendimų taikymas Europoje skiriasi, nes skiriasi pastatų amžius ir kokybė, statybinės technologijos, kultūrinės ir istorinės vertybės, bet svarbiausias aspektas – skirtingos klimato sąlygos. Kita vertus, Europa siekia naudoti iš bendro požiūrio, nukreipto į aplinkos apsaugą, statybines inovacijas ir eksporto plėtrą. Sistemingo požiūrio kūrimo atspirties taškas buvo tai, kad neefektyvių pastatų renovacija padės ne tik gamtai, bet ir verslui, ypač mažoms ir vidutinėms statybinių medžiagų tiekimo ir gamybos įmonėms. Jos galės siūlyti naujas išorinių sienų atnaujinimo koncepcijas. Prielaida buvo ta, kad sukurta bendra sisteminio požiūrio plėtra padėtų aplinkosauginiu požiūriu, atkreipiant dėmesį į ilgalaikį medžiagų poveikį ir lyginant alternatyvas priimti tikslingus sprendimus (Beatens *et al.* 2010).

Dar vienas mokslininkas Häkkinenas atliko tyrimą, kuriuo nustatyta, kad šiuo metu elektrochrominiai langai (žiūr. 5 pav.) atrodo perspektyviausi siekiant sumažinti aušinimo nuostolius, šildymui bei apšvietimui panaudojamą energiją pastatuose, nes jie gali moduluoti iki 68 % visų saulės spindulių spektro. Jų veiksmingumas jau įrodytas karštame Kalifornijos klimate, tačiau vis dar nėra atliktų mokslinių tyrimų šaltesniame klimate. Reikia atlikti tyrimus ir rasti sprendinius, kad būtų galima visiškai kontroliuoti patalpų klimatą, moduluojant daugiau energijos šiuo efektyviu būdu, bei maksimaliai sumažinti tiek šildymo, tiek aušinimo nuostolius (Häkkinen 2012).



5 pav. Elektrochrominiai langai (Häkkinen 2012)

Remiantis investicijomis į išorinių pastato sienų termoizoliaciją galima nustatyti pastato ekonominę vertę, pelningumo rodiklį (PI), atsipirkimo laikotarpį (T). Visi šie rodikliai iš esmės priklauso nuo termoizoliacinės medžiagos parametrų (pirkimo išlaidų, išlaidų montavimui, storio ir šilumos laidumo koeficiento) ir nuo šilumos šaltinio tipo (išlaidų šildymui), taip pat sienų parametrų (šilumos perdavimo koeficiento bei šilumos izoliacijos). Svarbu pastebėti, kad kiekvienu atveju grynoji dabartinė investicijų vertė yra didesnė pasirenkant optimalaus storio termoizoliaciją, dėl kurios šilumos perdavimo koeficientas yra daug mažesnis (Dylewski *et al.* 2012).

1.9. Ekologiški blokeliai, skirti apželdinimui

Anot Wen-jie ir kolegų, viena blokelių, skirto apželdinimui pusė yra pagaminta iš ekologiško betono, o kita – iš pralaidaus akytojo betono. Bloko ertmė yra pripildoma dirvožemio, kuriame yra mineralinių medžiagų, trąšų. Tai būtina sąlyga augalams augti. Užpildoma medžiaga turi būti tam tikro storio, kad būtų pakankamai mineralinių medžiagų ir drėgmės. Dėl didžiulio poringumo ir laidumo koeficiento, paviršiaus dirvožemio ir gruntinio vandens mineralai gali patekti ir užpildyti medžiagomis ertmes per poras (Wen-jie *et al.* 2012).

1.10. BIM pritaikymas

Pasak mokslininkų Gökcio ir kt., pastatai suvartoja beveik 40 % visos naudojamos energijos ir 30 % visų CO₂, išmetamų Europoje. Aplinkosaugos ir kiti teisės aktai reglamentuoja efektyvų ir tikslų pastatų energijos valdymą. Dabartinės pastatų valdymo sistemos neturi energijos stebėjimo ir valdymo galimybių. Siekiant spręsti šiuos klausimus, siūloma duomenų sistema, sudaryta iš komponentų: duomenų saugyklos, gamybos, transportavimo ir krovimo įrankių. Išsivysčiusiose sistemos tikslas yra saugoti, integruoti, analizuoti sudėtingus duomenų rinkinius iš kelių duomenų ir informacijos šaltinių, pvz.: laidiniai / belaidžiai jutikliai (pvz., bendri jutiklio ir matuoklio rodmenys) ir statybos informacinio modeliavimo (BIM). Tam naudojami įrankiai (pvz., Autodesk Revit Architecture ir EP). Sukurta sistema yra įrodyta ir patvirtinta Aplinkos tyrimų instituto (ERI), esančio Airijoje Korko universitete – koledže (Gökc *et al.* 2012).

1.11. Patentų apžvalga

1.11.1. Saulės energijos sistema

Dar 1767 metais Šveicarų mokslininkas Horacijus-Benediktas de Saussure sukūrė pirmąją saulės kolektoriaus - izoliacijos langelį, kuris buvo padengtas trijų sluoksnių stiklu sugeriančiu šilumos energiją. Saussure dėžutės tapo plačiai žinomos kaip pirmosios saulės krosnelės, galinčios pasiekti 230 °F.

Saulės energija elektros gamybai pradėta naudoti dar apie 1980 metus. Tais metais buvo sukurta pirmoji fotoelektros sistema. Šią sistemą sudaro kolektoriai, kurie naudojami saulės energijos rinkimui ir koncentravimui, imtuvas, kuris yra sujungtas su kolektoriumi ir reikalingas saulės spindulių konvertavimui į šiluminę energiją, šiluminės energijos akumuliatorius, kaupiklis, ir šiluminės energijos perdavimo sistema, naudojama šiluminei energijai perduoti iš imtuvo į šiluminės energijos kaupiklį (Marke 1980).

1.11.2. Vėjo energijos naudojimas

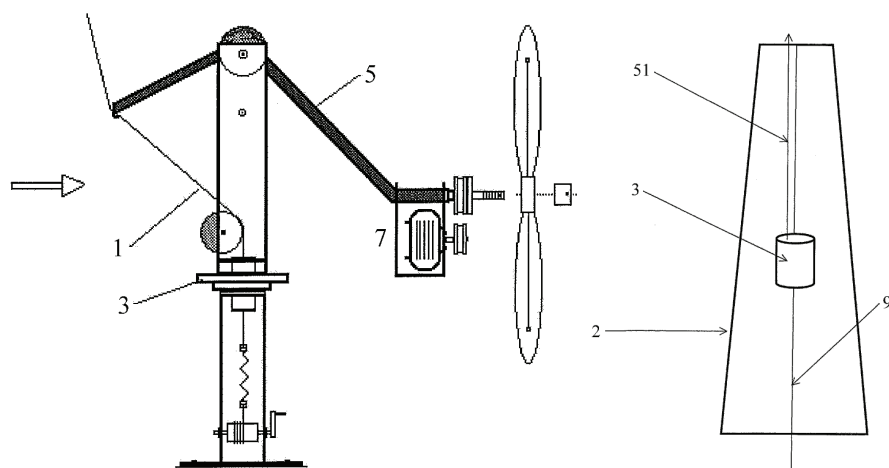
Vėjo energija naudojama daugiau nei 6000 metų. Pirmiausiai vėjo energija buvo naudojama kaip varomoji jėga buriniuose laivuose, vėliau buvo sukurti vėjo malūnai, kurie vėjo energiją paversdavo mechanine energija ir buvo naudojami grūdams malti, aliejui spausti, vandeniui siurbti. Vėjo siurbliai prisidėjo prie transporto sistemų plėtimo po visą pasaulį, pumpuodami vandenį iš vandens šulinių garų garvežiams. Daugiaašmenė vėjo turbina su viršuje esančiu grotelių bokštu, padarytu iš medienos ar plieno, buvo daugelį metų visuose Amerikos kaimų peizažuose matoma įranga. Pritaikius generatorius ir baterijos bankus, mažos vėjo mašinos aprūpino elektrą izoliuotus ūkius.

1887 m. liepą profesorius J. Blyth'as, ėmėsi vėjo galios bandymų, kurie pasiekė kulminacinį tašką Jungtinės Karalystės 1891 m. patente. Blyth'o 33 pėdų (10 m) aukščio, audeklu vairuota vėjo turbina buvo įdiegta Marykirk Škotijoje ir buvo panaudota, kad gamintų elektrą. Blyth'as pasiūlė perteklinę elektrą Marykirk gatvei apšviesti, bet vėliau jo išradimas neturėjo komercinės sėkmės.

Prasidedant 1887-1888 m. žiemai, Jungtinėse Valstijose, F. Brush'as pagamino elektrą, naudodamas vėjo varomą mašiną, kuri gamino elektrą jo namams ir laboratorijai apytiksliai iki 1900 metų.

1890 m., Danijos mokslininkas ir išradėjas Poul la Cour'as konstravo vėjo turbinas, kad sukurtų elektrą, kuri buvo tada panaudojama vandeniliui gaminti. Vėjo turbinų formos išliko iki šių dienų.

Mažos vėjo jėgainės izoliuotų kaimų namams apšviesti buvo plačiai paplitusios pirmoje XX a. pusėje. Siekiant jas sujungti į vieną tinklą, vėjo jėgainės buvo pastatytos keliose vietose, įskaitant Jaltą (1931 m.) ir Vermontą (1941 m.). Šiuolaikinės vėjo jėgainių pramonės pradžia 1979 m. kai Danijos įmonės pradėjo gaminti vėjo turbinas. Palyginti su dabartiniais standartais, tos jėgainės buvo mažos, 20 – 30 kW galios. Vėjo turbinos gamybai plečiantis į daugelį šalių, keitėsi jų dydis ir galia.



6 pav. Vėjo energijos konverteris (Wolff 2010)

Vėjo energijos konverterį (6 pav.) sudaro automatinio reguliavimo ir žaibo smūgius sugeriantis komponentas, kuris susideda iš nerūdijančio plieno S-formos alkūnės, nerūdijančio plieno kabelio (1), svorio skaitiklio (3), sujungto nerūdijančio plieno kabeliu (1), ir atskiru nerūdijančio plieno kabeliu (9). Ši sistema yra apsaugota nuo žaibo iškrovų (Wolff 2010).

1.11.3. Iš geoterminės energijos gaminama šiluma

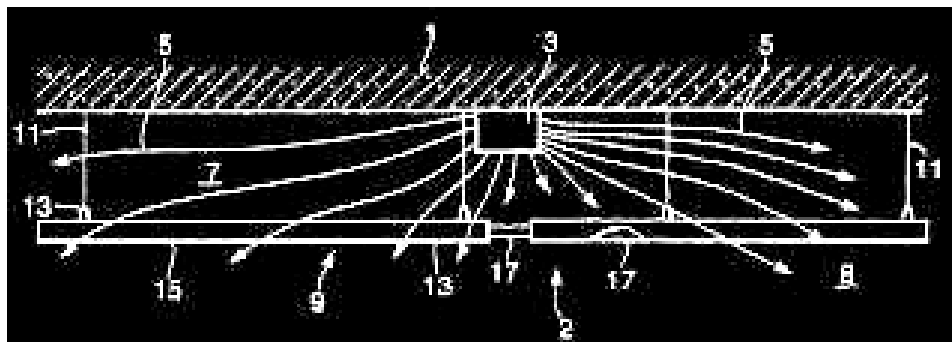
Brangstant energijai mokslininkų dėmesys pradėjo krypti į gamtoje vykstančius įvairius šiluminius procesus, kurių metu aukštesnės temperatūros kūnai perduoda šilumą žemesnės temperatūros kūnams. Vyksta negrįžtami procesai pagal fizikinius dėsnius. Energijos tvarumo dėsnis skelbia, kad energija niekur nedingsta, tik persiskirsto. Mokslininkai turėjo užduotį tinkamai panaudoti geoterminę energiją. 1904 m. P. G. Conti išrado pirmąją geoterminę jėgainę, kuria garų pagalba buvo gaminama energija.

Temperatūrų skirtumai tarp aplinkos temperatūros ir žemės gelmėse vyraujančios temperatūros gali būti panaudoti energijai gaminti. Tam pasitelkiamas šilumos siurblys, kuris per žemėse esančius vamzdžius surenka šilumą į šilumokaitį. Tais vamzdžiais cirkuliuoja neužšalantis skystis, kuris šilumokaityje perduoda energiją. Ten esančio specialaus skysčio slėgis padidėja, susidaro garai, kurie patenka į kondensatorių, iš kurio šiluma naudojama vandens temperatūrai padidinti, o atšalęs skystis grįžta į žemės gelmes toliau kaupti šilumos (Geotermika... 2010).

1.11.4. Fazių kaitos medžiagų panaudojimas

Visi atliekami bandymai su fazių kaitos medžiagomis atliekami siekiant šių medžiagų savybes tinkamai panaudoti, t.y. pritaikyti energijos kaupimui. Šie vykstantys reiškiniai yra susiję su branduolių sinteze ir paviršiaus apsorbojimo technika. Paviršius padengtas atitinkamų charakteristikų medžiaga, kurios žemas lydymosi taškas. Šios medžiagos gali būti naudojamos

statybos ir apdailos srityse realizuojant energijos kaupimą, reguliuojant temperatūrą ir siekiant taupyti energiją (Xue 2006). Kaip pavyzdys pateikiamas mokslininko išradimas, kuriame fazių kaitos medžiagų komponentai buvo pritaikyti pakabinamose lubose (žiūr. 7 pav.).

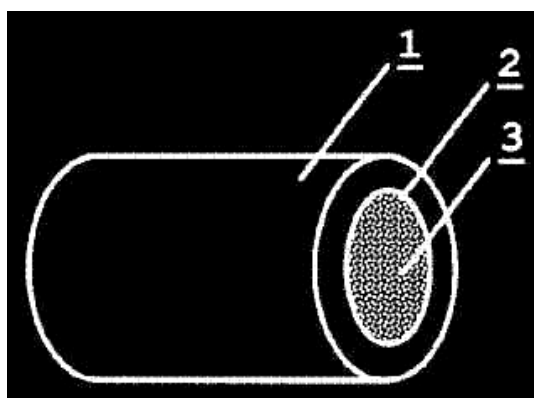


7 pav. Kabamųjų lubų schema (Kuperus 2007)

Atvira pakabinamų lubų sistema (2) su integruotomis fazių kaitos medžiagomis (PCMs), kurios padeda kondicionavimo sistemai. Ši sistema reguliuoja pastato mikroklimatą orientuodamasi į slėgių ir temperatūrų skirtumus (Kuperus 2007).

Fazių kaitos medžiagos kartu su statybinėmis medžiagomis gali būti naudojamos statant statinius. Tokią medžiagą sudaro kietas parafinas, skystasis parafinas, speciali akyta medžiaga, cemento, grafito ir ekologiškų medžiagų pluoštai. Jų santykis išreiškiamas formule: $1:(1.5-2.5):(1.5-1.8):(3-5)$. Tai kieto parafino santykis su skystuoju parafinu, akytu lengvuju užpildu, cementu. Lengvųjų akytų granulių dalelių skersmuo, mažesnis kaip 5 mm, o tankis 70-250 kg/m³. Prie pagrindinės formulės su grafitu gali būti pridėta ir organinio pluošto. Su fazių kaitos medžiagomis gali būti gaminamos ne tik specialios paskirties plokštės, bet ir įvairūs statybiniai mišiniai, kurie gali pakeisti tradicines statybines medžiagas. Privalu paminėti, kad šiuos mišinius maišant su vandeniu galima išgauti įvairias formas (Zhang 2009).

Dar viena iš šių medžiagų panaudojimo alternatyvų yra tuščiaviduriai pluoštai (žiūr. 8 pav.) pripildyti šilumą išlaikančia medžiaga. Tam pasitelkiamos fazių kaitos medžiagos, kurios gali būti naudojamos šiluminės izoliacijos pavidalu.



8 pav. Tuščiavidurių pluoštų panaudojimas (Schuette 2010)

Produktas gaunamas specifinės gamybos metodu, todėl tuščiaviduris pluoštas ir PCM pluoštas vienu nepertraukiamo proceso metu yra sujungiami dviejų medžiagų injekcijos principu (Schuette 2010).

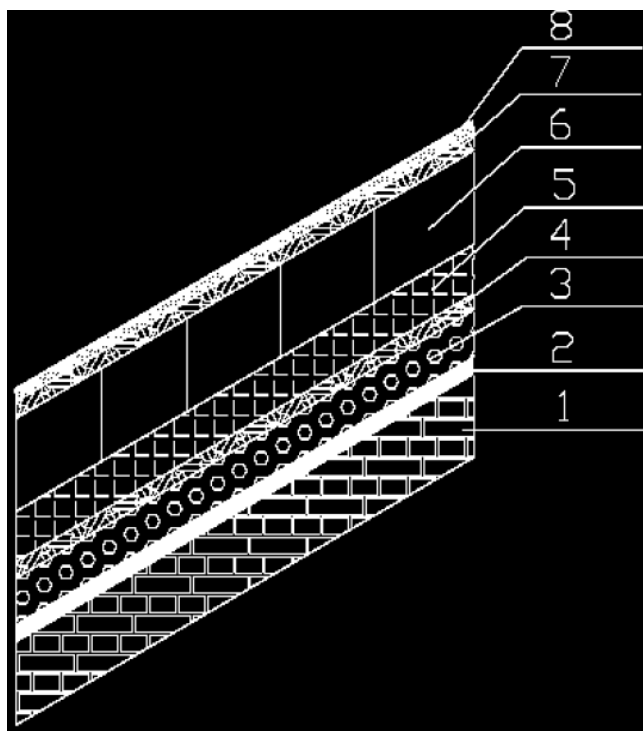
Pastate ir jo sudėtinėse dalyse, įvairiose atitvarose, tokiose kaip: stogas, grindys, lubos vidaus ar išorės pastato sienos, gali būti integruotos šilumą akumuliuojančios medžiagos, kuriuose šilumą kaupianti medžiaga yra fazių kaitos medžiaga, o jos pagrindinė savybė yra kaupti šilumos energiją ir atiduoti šiluminę energiją tada kai pastatas atvėsta, t.y. priklauso nuo pastato vidinio klimato. Pastebėta, kad medžiaga pritaikyta šilumos kaupimui taip pat galėtų kaupti šaltį, todėl puikiai galėtų būti naudojama šaldymui (Neuwald 2010).

1.11.5. Cemento sudėtinių skiedinių formavimas su fazės kaitos medžiagomis ir jo paruošimo būdai

Išradimas atskleidžia cemento sudėtinių skiedinių formavimą su fazės kaitos medžiagomis ir paruošimo būdus, kurie naudojami statybinių medžiagų srityje. Cemento sudėtiniai skiediniai formuojami iš modifikuotos fazių kaitos medžiagos ir modifikuotos cementinio pagrindo medžiagos, kurioje pakeistos medžiagų savybės veikiant hidrofiliniu paviršiaus modifikavimo būdu. Modifikuotą cementinio pagrindo medžiagą sudaro polimerinio gelio medžiagos ir armuotos pluoštinės medžiagos, kurių maksimalus naudojamas kiekis yra 570 kg/m^3 . Naudojamose polimerinio gelio medžiagose modifikuotame cementiniame pagrinde nuo 3 iki 10 % yra kietųjų dalelių, o pluoštu armuotos medžiagos kiekis yra nuo 0,7 iki 1 kg/m^3 . Tokio skiedinio stiprumas gaunamas didesnis nei 0.10 MPa. Pagrindiniai tokios medžiagos privalumai yra žema kaina, ilgaamžiškas didelės energijos saugojimas ir platus naudojimo asortimentas (Chao 2010).

1.11.6. Stogo šiluminės izoliacijos konstrukcija su oro kanalais ir fazės kaitos medžiagomis

Sukurtas modelis apžvelgia stogų šiltinimo struktūrą su oro kanalais ir fazės kaitos medžiagomis, kurios išsprendžia įvairias problemas (žiūr. 9 pav.).



9 pav. Stogo sluoksniai (Guozhong 2011)

Stogų konstrukcijas veikia išorinė aplinka, sunaudojama per daug energijos gaminant stogus lyginant su tarnavimo laiku. Sukurtame modelyje stogo šiluminės izoliacijos struktūra pateikiama su fazės kaitos medžiagomis (5), ventiliuojamu sluoksniu (6), kuris papildomas įvairiomis atraminėmis plokštėmis, viršutinis vandeniui atsparus sluoksnis (7) ir apsauginis sluoksnis (8). Šiluminės izoliacijos sluoksnyje fazių kaitos medžiagos atlieka šilumos saugojimo funkciją. Jos maišomos su parafino vašku, polietilenglikoliu, polioliu ir sunkiosiomis riebalų rūgštimis, o apsauginis sluoksnis (8) yra pagamintas iš aluminio plokštės. Stogas su šia šilumos izoliacijos struktūra gali sumažinti pastatų energijos suvartojimą, pagerinti patalpų šiluminę aplinką ir komforto sąlygas keičiant stogo struktūrą. Taip pat gali būti pritaikomas įvairiems stogų tipams tik pakeičiant viršutinę stogo dangą ar pridėdant papildomų sluoksnių, tokių kaip: hidroizoliacija, geotekstilė ar korėti lakštai, norint sukurti žaliąjį ar kitokio tipo stogą (Guozhong 2011).

2. MODERNIZACIJOS PROJEKTAI, KURIAIS SIEKIAMA EFEKTYVUMO

Skyriuje apžvelgiami modernizacijos projektai, kuriais siekiama senus energiška neefektyvius pastatus padaryti energiška efektyviais pastatais. Pateikiamos modernizavimo priemonės kurias remia valstybė (žiūr. 1 lentelė). Nagrinėjamas Suomijos renovacijos modelis ir jo pritaikymo galimybės Lietuvoje.

1 lentelė. Valstybės remiamos daugiabučio namo atnaujinimo (modernizavimo) priemonės (STR 1.12.05:2010)

I.	ENERGINĮ EFEKTYVUMĄ DIDINANČIOS PRIEMONĖS
1.	Šildymo ir karšto vandens sistemų pertvarkymas ar keitimas:
1.1.	šilumos punkto ar katilinės (individualių katilų) ir karšto vandens ruošimo įrenginių keitimas ar pertvarkymas, taip pat ir atsinaujinančių energijos šaltinių (saulės, vėjo, geoterminės energijos, biokuro ir panašiai) įrengimas
1.2.	balansinių ventilių ant stovų įrengimas
1.3.	vamzdynų šiluminės izoliacijos gerinimas
1.4.	šildymo prietaisų ir vamzdynų keitimas
1.5.	individualios šilumos apskaitos prietaisų ar daliklių sistemos ir (ar) termostatinų ventilių įrengimas butuose ir kitose patalpose
2.	Ventiliacijos ir rekuperacijos sistemų pertvarkymas, keitimas ar įrengimas
3.	Stogo šiltinimas, taip pat ir naujos dangos ar naujo šlaitinio stogo įrengimas (išskyrus patalpų pastogėje įrengimą) ir (ar) perdangos po vėdinama šlaitinio stogo pastoge šiltinimas
4.	Fasado sienų (taip pat ir cokolio) šiltinimas, įskaitant sienų (cokolio) konstrukcijos defektų pašalinimą ir nuogrindos sutvarkymą
5.	Balkonų ar lodžijų įstiklinimas, įskaitant esamos balkonų ar lodžijų konstrukcijos sustiprinimą ir (ar) naujos įstiklinimo konstrukcijos įrengimą pagal vieną projektą
6.	Laiptinių lauko durų ir tambūro durų keitimas, įskaitant susijusius apdailos darbus, įėjimo laiptų remontą ir pritaikymą neįgaliųjų poreikiams

7.	Butų ir kitų patalpų langų keitimas į mažesnio šilumos pralaidumo langus
8.	Rūsio perdangos šiltinimas
9.	Liftų atnaujinimas (modernizavimas) – jų keitimas techniniu energiniu požiūriu efektyvesniais liftais, įskaitant priėjimo prie lifto pritaikymą neįgaliųjų poreikiams
II.	KITOS NAMO ATNAUJINIMO (MODERNIZAVIMO) PRIEMONĖS
10.	Kitų pastato bendrojo naudojimo inžinerinių sistemų (nuotekų sistemos, taip pat ir namui priklausančių lokalinių įrenginių, elektros instaliacijos, priešgaisrinės saugos įrenginių, geriamojo vandens vamzdynų ir įrenginių keitimas ar (ar) pertvarkymas, drenažo sutvarkymas)

Gyventojai, apsisprendę savo gyvenamojo būsto atnaujinimui (modernizacijai), paprastai siekia tokių tikslų:

- ♦ sumažinti daugiabučio gyvenamojo namo (tuo pačiu – ir kiekvieno buto atskirai) eksploataavimo kaštus (nauji langai, apšiltintos pastato atitvaros, moderni šildymo sistema, leidžianti gyventojams patiems reguliuoti patalpų šildymo intensyvumą, bei kitos įdiegtos priemonės mažina gyventojų išlaidas būsto šildymui);
- ♦ padidinti būsto pranašumą nekilnojamo turto rinkoje (atnaujinto (modernizuoto) būsto kaina rinkoje padidėja, lyginant su tokiais pačiais namais toje pačioje vietoje);

pagerinti pastato estetinį vaizdą (namo siūlių hermetizavimas, sienų apšiltinimas ir apdaila, balkonų tvarkymas ir atnaujinimas bei kitos įgyvendintos priemonės suteikia namui geresnį estetinį vaizdą).

Todėl, atliekant daugiabučių namų atnaujinimą (modernizaciją), įgyvendinamos įvairios priemonės – tiek energiją taupančios, tiek energiją netaupančios. Siekiant išsiaiškinti, kurios modernizavimo priemonės buvo dažniausiai įgyvendinamos, buvo analizuojami Agentūros pateikti trisdešimt septyni daugiabučių gyvenamųjų namų investiciniai projektai. Dažniausiai naudotos (tiek energiją taupančios, tiek energiją netaupančios) priemonės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Dažniausiai įgyvendinamos daugiabučių gyvenamųjų namų modernizavimo priemonės

Įgyvendintos priemonės	Įgyvendinti projektai (37)
Energiją taupančios priemonės	
Langų ir/arba balkono durų keitimas butuose	100% (37)

2 lentelės pabaiga

Langų keitimas laiptinėse	100% (37)
Sienų šiltinimas	89% (33)
Rūsio langų keitimas	84% (31)
Balkonų stiklinimas	76% (28)
Stogo šiltinimas	59% (22)
Šildymo sistemos rekonstrukcija	57% (21)
Durų keitimas (lauko)	54% (20)
Cokolio šiltinimas	46% (17)
Šilumos punkto atnaujinimas (modernizavimas)	16% (6)
Rūsio perdangos šiltinimas	5% (2)
Energijos netaupančios priemonės	
Laiptinės remontas	54% (20)
Šalto ir karšto vandens vamzdinių remontas	41% (15)
Kanalizacijos nuvedimo sistemos remontas	41% (15)
Balkonų remontas	38% (14)
Lietaus kanalizacijos remontas	27% (10)
Elektros instaliacijos remontas	14% (5)
Kitos*	46% (17)

2.1. Paroc Innova projektas

Unikalus daugiabučio atnaujinimo (renovacijos) projektas 2011 m. buvo įvykdytas Riihimäki miestelyje Suomijoje.



10 pav. Projekto modelis („Inova“ projektas... 2013)

Čia senas daugiabutis modernizuotas taip, kad jis taptų pasyviu gyvenamuoju keturių aukštų pastatu. Projektą vykdė Paroc kompanija kartu su Helsinkio universiteto specialistais, Suomijos techninių tyrimų centro VTT ekspertais ir kitais partneriais.

Daugiabučio atnaujinimui buvo užbrėžtas tikslas atnaujinti pastatą taip, kad jis savo energijos sąnaudomis atitiktų pasyvių gyvenamųjų namų rodiklius, būtų energiškai efektyvus, sandarus, pasižymėtų komfortišku mikroklimatu patalpų viduje, efektyvia garso ir šilumos izoliacija.



11 pav. Pastato vaizdas prieš renovaciją („Inova“ projektas... 2013)

Šis namas buvo pastatytas maždaug 1970 m. ir šio namo gelžbetoniniai elementai buvo apšiltinti 10 cm storio akmens vatos šilumos izoliacijos sluoksniu, o langai šiame name buvo

sumontuoti šilumos izoliaciniame sluoksnyje. Tuo metu Lietuvoje buvo statomi blokiniai daugiabučiai namai, kurie neturėjo šiltinamojo sluoksnio. Tada lietuviai dar nesirūpino energijos taupimu ir langus įrenginėjo laikančios konstrukcijos sluoksnyje. Taip patirdami didesnius šilumos nuostolius.

2.1.1. Riihimäki modernizacijos žingsniai

Projektavimo darbų tikslumas padeda apsaugoti nuo nenumatytų išlaidų, todėl šiam etapui buvo skiriamas didelis dėmesys. Buvo parinkti tinkami šiltinimo konstrukciniai sprendimai, atlikti energijos sąnaudų skaičiavimai, mazgų ir atskirų jungčių konstravimo darbai, apsispręsta dėl vėdinimo sistemos ir pastato sandarumo, kuris bus pamatuotas statybos proceso pabaigoje.

Pradedant Riihimäki daugiabučio renovacijos darbus, iš pradžių buvo nudaužytas trislauksnio surenkamo gelžbetonio elemento išorinis, fasado apdailos sluoksnis, nuimta šiltinimo medžiaga ir paruoštas pagrindas specialių surenkamų, vertikaliai orientuotų fasado skydų montavimui.



12 pav. Gamykloje gaminami specialūs skydai („Inova“ projektas... 2013)

Kol vyko šie darbai, Teeri-Kolmio Oy gamykloje, uždaruose angaruose buvo pagaminti specialūs šiam namui skirti elementai – vertikalūs skydai per visą pastato aukštį su šilumos izoliaciniu sluoksniu iš akmens vatos. Skyduose buvo sumontuota ortakių sistema vėdinimui, įstatyti langai. Skydai iš išorės papildomai buvo apklijuoti vertikaliais orientuoto plaušo plokštėmis iš akmens vatos ir įrengtas armavimo sluoksnis. Vėliau skydai buvo vežami į statybviетę ir čia montuojami ant paruoštų pastato sienų.



13 pav. Iš gamyklos skydai atvežami į statybviетę („Inova“ projektas... 2013)

2.1.2. Sprendimų nauda

Renovacijos procedūra Riihimäki miestelyje iš pirmo žvilgsnio atrodo paprasta, logiška ir nesudėtinga. Čia reikia pažymėti keletą esminių skirtumų nuo įprastos renovacijos pavyzdžių.

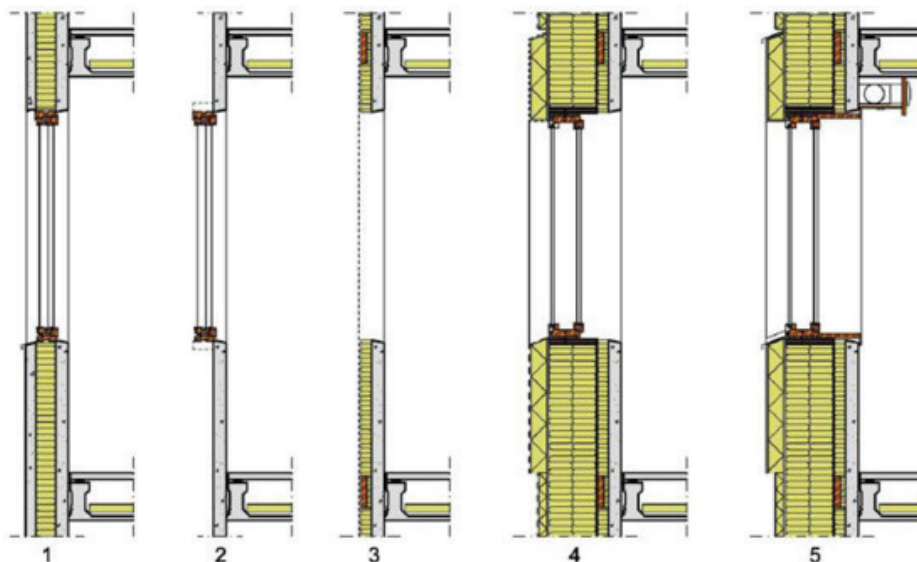
Visų pirma, tai – skydai. Šie sandarūs ir kokybiški fasado apšiltinimo elementai į statybviетę atvažiuoja jau gatavi, tai yra sumontuoti gamykloje, uždaruose patalpose, kur jų neveikia atmosferinė drėgmė ir krituliai. Gamykloje ant specialių stalų tokius skydus galima paruošti kur kas kokybiškiau ir greičiau nei statybviетėje. Be to, vežant į objektą ir montuojant jau gatavus elementus gerokai padidėja renovacijos darbų sparta, sumažėja statybos darbų priežiūros procedūrų pačioje statybviетėje.

Vietoj plokščio daugiabučio stogo buvo įrengta palėpė su šlaitiniu (šiuo atveju – vienslaičiu) stogu. Palėpė apšiltinta nedegia, patikima šilumos izoliacija iš „Paroc“ akmens vatos. Palėpėje buvo sumontuota viso namo vėdinimo sistemos įranga.



14 pav. Skydų tvirtinimas prie fasado („Inova“ projektas... 2013)

Taip pat Riihimäki daugiabučio renovacijos atveju, skirtingai nuo mūsų, langai buvo sumontuoti izoliaciniame, šiltinamajame sluoksnyje, o tai reiškia, kad tokiam pastate bus mažiau šiluminių tiltelių ir sumažės šiluminės energijos praradimų per tokius tiltelius. Balkonai prie daugiabučio statomi atskirai, kaip atskiras vienetas, kaip atskiras elementas. Jie atskirti nuo pagrindinių atitvarų ir taip, vėl gi, bus sumažinti šilumos nuostoliai.



15 pav. Sienos konstrukcijos raida renovacijos metu („Inova“ projektas... 2013)

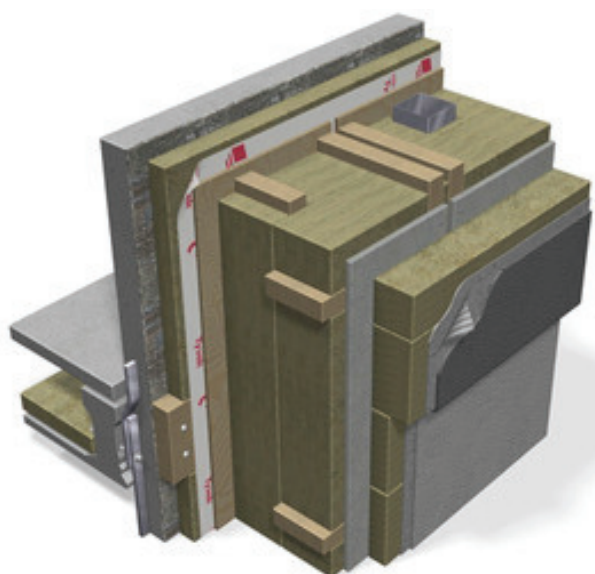
2.1.3. Skydinės sistemos panaudojimas Lietuvoje

Toks renovacijos būdas, kaip Riihimäki miestelyje, gali būti taikomas ir Lietuvoje. Juolab, kad senų daugiabučių gelžbetonio plokštės pas mus nebuvo sovietmečiu šiltinamos, tad nereikia fasadų nudaužyti, valyti ir specialiai parengti skydų „užkabinimui“.

3 lentelė. Riihimäki daugiabučio modernizacijos rezultatai: rodikliai prieš renovaciją ir po jos („Inova“ projektas... 2013)

			Prieš	Po
Grindys		W/(m ² K)	0.46	0.46
Apkrovas perimančios sienos		W/(m ² K)	0.27	0.1
Save laikančios sienos		W/(m ² K)	0.25	0.1
Durys		W/(m ² K)	1.8	0.8
Stogas		W/(m ² K)	0.22	0.08
Langai		W/(m ² K)	2.9	0.66
Rekuperacija		%	—	75

Lietuvoje daugelis vengia užsieninių būsto modernizavimo projektų dėl neva didelių kainų. Reikia pastebėti, kad Riihimäki daugiabučio modernizacijos atveju šis projektas namo gyventojams nieko nekainavo. Pastatas priklauso Riihimäki municipalitetui, kuris ir užsakė šį projektą, o finansavo jį per vietinę Būsto agentūrą iš miesto biudžeto. Finansinė projekto logika buvo tokia: savivaldybė finansuoja modernizaciją, o prasidėjus atnaujinto namo eksploatacijai ir sumažėjus komunaliniams mokesčiams gyventojams didinamas būsto nuomos mokestis beveik tiek, kiek sutaupoma šildymui. Taigi, gyventojai neinvestavo į būsto atnaujinimą, mokestinė našta jiems nepakito ir tuo pat metu jie dabar turi modernų, energiškai efektyvų, estetiškai patrauklesnį ir komfortiškesnį būstą („Inova“ projektas... 2013).



16 pav. Paroc sienos detalė („Inova“ projektas... 2013)

Paroc Innova fasado detalės (žiūr. 16 pav.), sluoksniai:

- ♦ Senoji, likusi sienos dalis;
- ♦ Paroc UNM 37pz plokštė, 100 mm;
- ♦ Difuzinė Tyvek plėvelė, XMW 060;
- ♦ Medinis skydas iš daugiasluoksnės klijuotos medienos su išvedžiotais ortakiais, apšiltintas paroc extra plus, 300 mm storio plokštėmis;
- ♦ Cemento plaušo plokštė;
- ♦ Paroc FAL 1 plokštė, 50-100 mm, armavimo sluoksnis ir išorinė apdaila.

Tokios sienos U vertė $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ („Inova“ projektas... 2013).

2.2. Nanotechnologijų pritaikymas langų paviršiui

Vokietijos Fraunhoferio taikomųjų polimerų tyrimų instituto (IAP) mokslininkai išrado būdą, kaip įprastas stiklines duris, sienas ir langus paversti aukštųjų technologijų įrenginiais su judesio daviklio funkcija.

Įprastiems stiklams skirta danga sudaryta iš fluorescuojančios medžiagos, kurioje esančios nanodalelės paverčia šviesą fluorescenciniu švytėjimu. Kai ultravioletinės lempos šviesa pasiekia tokius langus, duris ar stiklines vitrinas, fluorescencinis švytėjimas nukreipiamas į stiklo kraštus, kur jį užfiksuoja davikliai. Taip pat šie stiklai sulaiko dalį spindulių ir tokiu būdu neleidžia perkaisti patalpoms.

Jei nepageidaujamas asmuo įžengia į ultravioletinės šviesos skleidimo zoną, stiklo dangą pasiekiantis šviesos kiekis sumažėja, tad atitinkamai sumažėja ir fluorescencinis švytėjimas. Keturiuose lango rėmo ar durų kraštuose įrengti davikliai į apsaugos pultą perduoda informaciją, kuria remiantis galima apskaičiuoti, į kokią pusę ir koku greičiu juda objektas, bei nustatyti jo dydį. Tai leidžia atskirti nepavojingus objektus (pvz., paukščius ar naminius gyvūnus) nuo žmonių (Mano sveikata 2013).

2.3. Savaimė nusivalantis stiklas

Pilkington Activ“ – savaimė nusivalantis stiklas (žiūr. 17 pav.), kuris padengtas ypatinga danga, atliekančia dvi funkcijas: teršalų skaidymo ir nešvarumų pašalinimo.



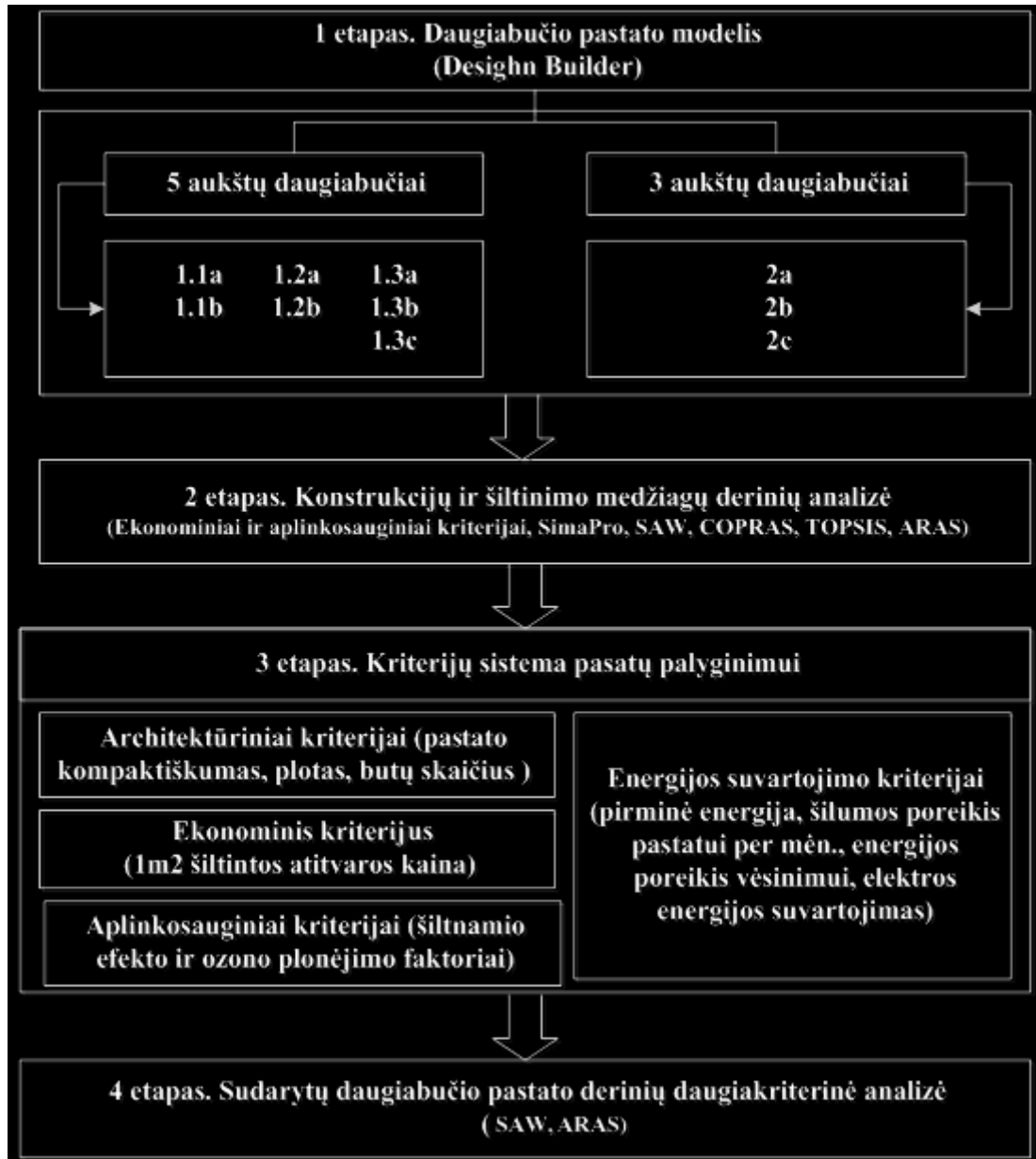
17 pav. Savaime nusivalantys stiklai (Savaime nusivalantys... 2013)

„Dienos šviesoje ši danga reaguoja su ultravioletiniais spinduliais skaidydama organinius teršalus. Lietaus vanduo, tolygiai nutekėdamas žemyn, nuplauna purvą nuo stiklo – taip išnaudojamas fotokatalizės procesas. Vėliau stiklą pradeda veikti vanduo. Stiklas – hidrofilinis, todėl vanduo jo paviršiumi nuteka ne lašais, o lygia srove (Savaime nusivalantys... 2013).

3. ENERGIŠKAI EFEKTYVAUS PASTATO MODELIAVIMAS

3.1. Modelio formulavimas

Darbo eigos nuoseklumui buvo labai svarbu sudaryti tyrimo modelį (žiūr. 18 pav.). Šis modelis buvo pasiūlytas tam, kad būtų atvaizduota darbo eiga. Kriterijai pasirinkti apibūdinantys energiškai efektyvų ir aplinką tausojantį pastatą.



18 pav. Energiškai efektyvaus pastato daugiakriteris modelis

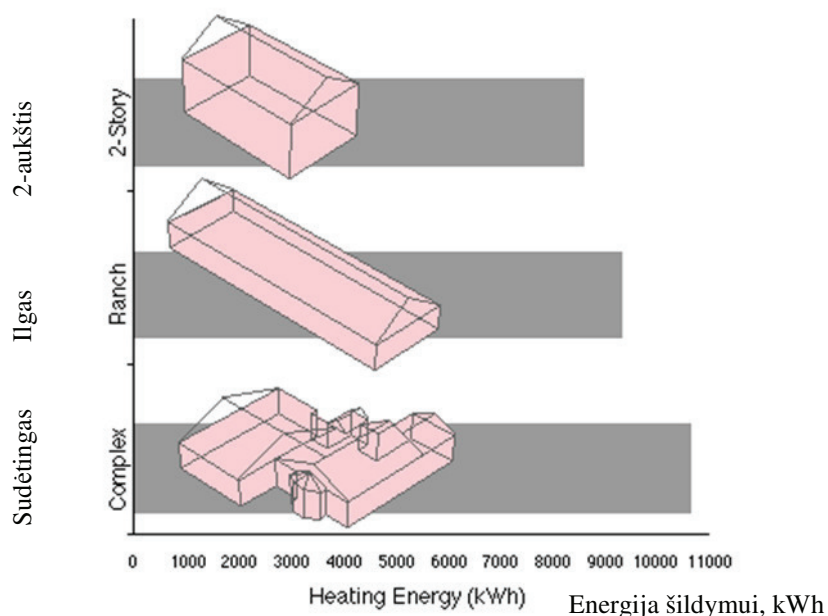
Iš schemos matyti, kad tyrimas buvo atliekamas keturiais etapais.

3.2. Variantų formulavimas

Tyrimo objektas – daugiabutis gyvenamasis namas. Kaip pradinės alternatyvos buvo suformuoti devyni įvairių tipų daugiabučiai pastatai. Daugiabučio formavimas vyko laikantis vieno

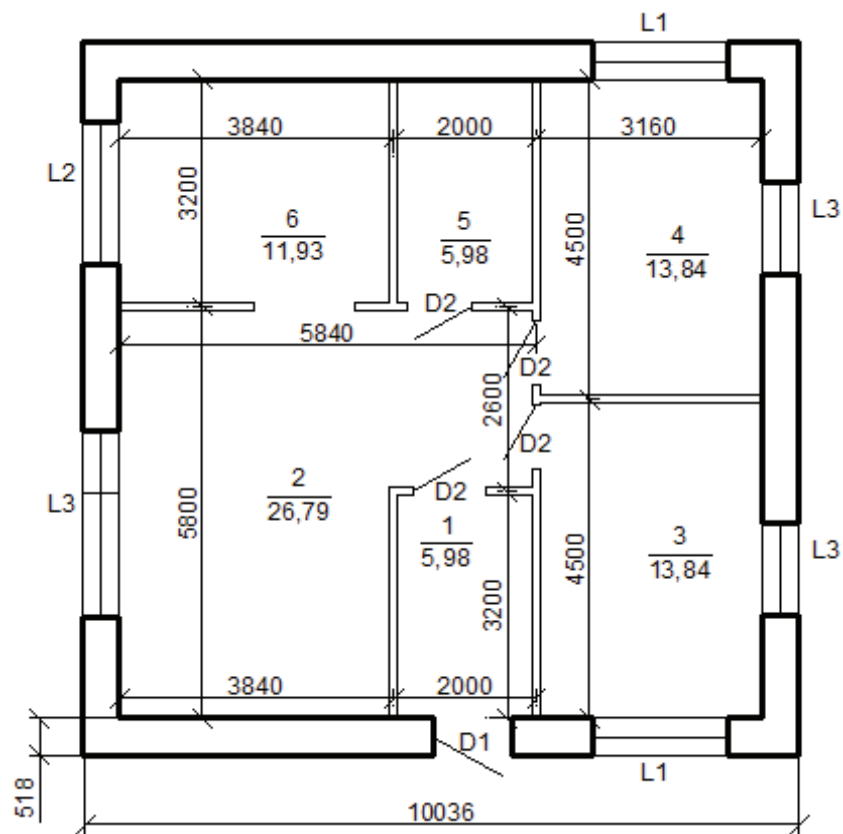
pagrindinio principo: sukurti pastatą iš vienodų vienbučio namo celių (žiūr. 20 pav.), keičiant tik vidinių pertvarų vietą, tačiau vidiniai buto matmenys buvo laikomi kaip konstanta, nekintantys 9 metrai į ilgį ir plotį. Daroma prielaida, kad tai turi būti ekonomišką būstą 4 asmenų šeimai, bet tuo pačiu turi užtikrinti tinkamą šiluminį ir vizualinį gyventojų komfortą gyventojams. Pastato architektūrinė dalis sukurta atsižvelgiant į anksčiau atliktų tyrimų rezultatus, pavyzdžiui, NorthPass (2011), bet laikantis principo, kad individualus namas turi minimaliai skirtis nuo daugiabučio namo buto, nes sekančiame etape vykdomas modeliavimas multiplikuojant pasikartojančius šio namo (celės) elementus, kurie būtų daugiabučio gyvenamojo namo dalis (butas).

Vienas iš pagrindinių kriterijų, pasirenkant pastato architektūrą, buvo jo kompaktiškumas (NorthPass 2011), nes vien pastato konstrukcijų šilumos perdavimo koeficientų mažinimas nebūtinai veda prie mažai energijos naudojančio pastato. Pastato kompaktiškumas suprantamas, kaip pastato atitvarų ploto ir tūrio arba šildomų patalpų grindų ploto santykis (S/V) – kuo pastatas kompaktiškesnis, tuo mažiau jam reikia energijos ir tuo pigiau kainuoja jį pastatyti. Kompaktiško pastato šilumos nuostoliai per atitvaras ir šiluminius tiltelius yra mažesni, taigi mažesni ir energijos poreikiai šildymui (Oikos: Green Building Source, Straube 2012, Gratia 2003), (19 pav.). Optimali pastato forma yra kubas, bet vadovaujantis modelio koncepcija, kad namas bus multiplikuojamas, sudarant daugiabutį, pasirinktas kiek įmanoma paprastesnės konstrukcijos vieno aukšto pastatas.



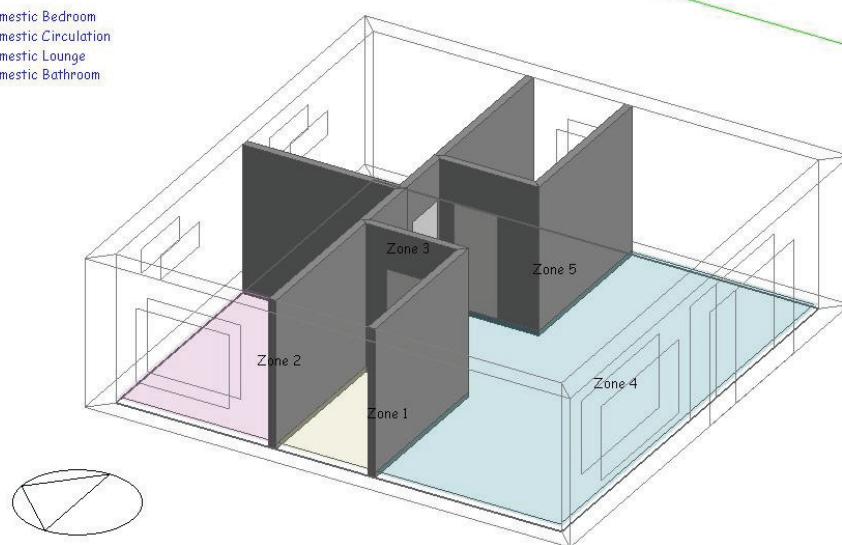
19 pav. Pastato kompaktiškumo įtaka šildymo energijos poreikiui (Oikos: Green Building Source)

Taigi parinktas vieno aukšto, stačiakampio formos pastatas. Jo geometrija, patalpų išdėstymas ir plotai yra pavaizduoti 20-22 pav.



20 pav. Vienbučio pastato celė

- Domestic Bedroom
- Domestic Circulation
- Domestic Lounge
- Domestic Bathroom



21 pav. Individualaus namo modelio erdvinis vaizdas (Design Builder)



22 pav. Individualaus namo modelio erdvinis vaizdas (Design Builder)

Pastatui konstrukcijos parenkamos vadovaujantis galiojančiais reikalavimais pasyviems (A+ klasės) pastatams (STR 2.01.09:2012), tačiau pats pastatas neturi atitikti A+ klasės. Taip pat vienas iš konstrukcijų medžiagų parinkimo kriterijų prieinamumas – ekonominis kriterijus, planuojamas vertinimas ekologiniu požiūriu. Langų dydžiai priklauso nuo fasado orientacijos, parenkami vadovaujantis NorthPass (2010) projekto rekomendacijomis.

4 lentelė. Bazinio individualaus gyvenamojo namo varianto konstrukcijos

Konstrukcija	Šilumos perdavimo koeficientas, U, W/m ² K
Išorinė siena	0,112
Pamatai	0,567
Grindys ant grunto	0,140
Stogas	0,105
Vidinės pertvaros	1,493

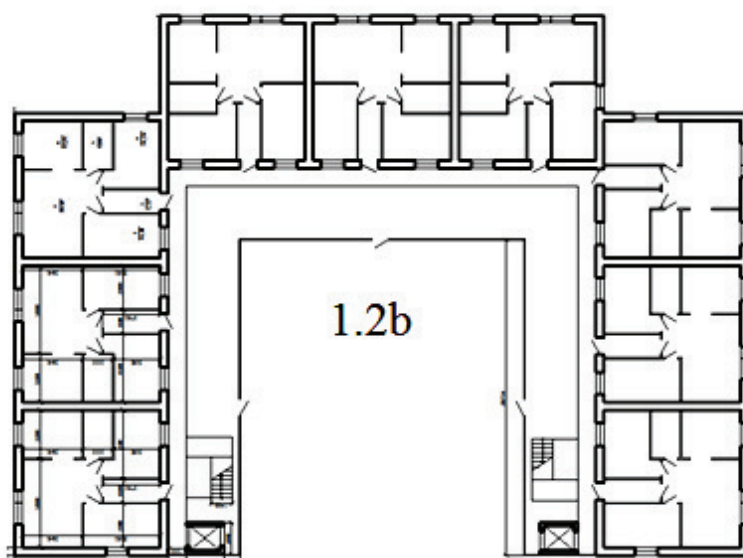
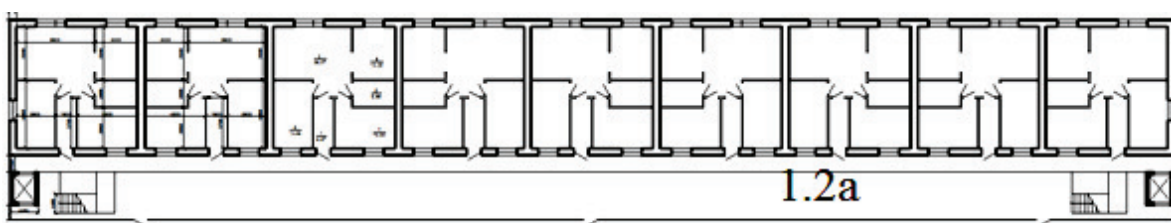
Autocad programa buvo sukurti devyni daugiabučių pastatų modeliai. Buvo stengiamasi sukurti kuo įvairesnius variantus. Pagrindiniai suformuotų variantų skirtumai yra:

- ◆ Laiptinių skaičius (buvos suformuoti nuo vienos iki trijų laiptinių);
- ◆ Aukštų skaičius (trijų ir penkių aukštų daugiabučiai);
- ◆ Butų skaičius laiptinėse (nuo trijų iki penkių butų);
- ◆ Pastatų planų tipai (blokinis ir koridorinis).

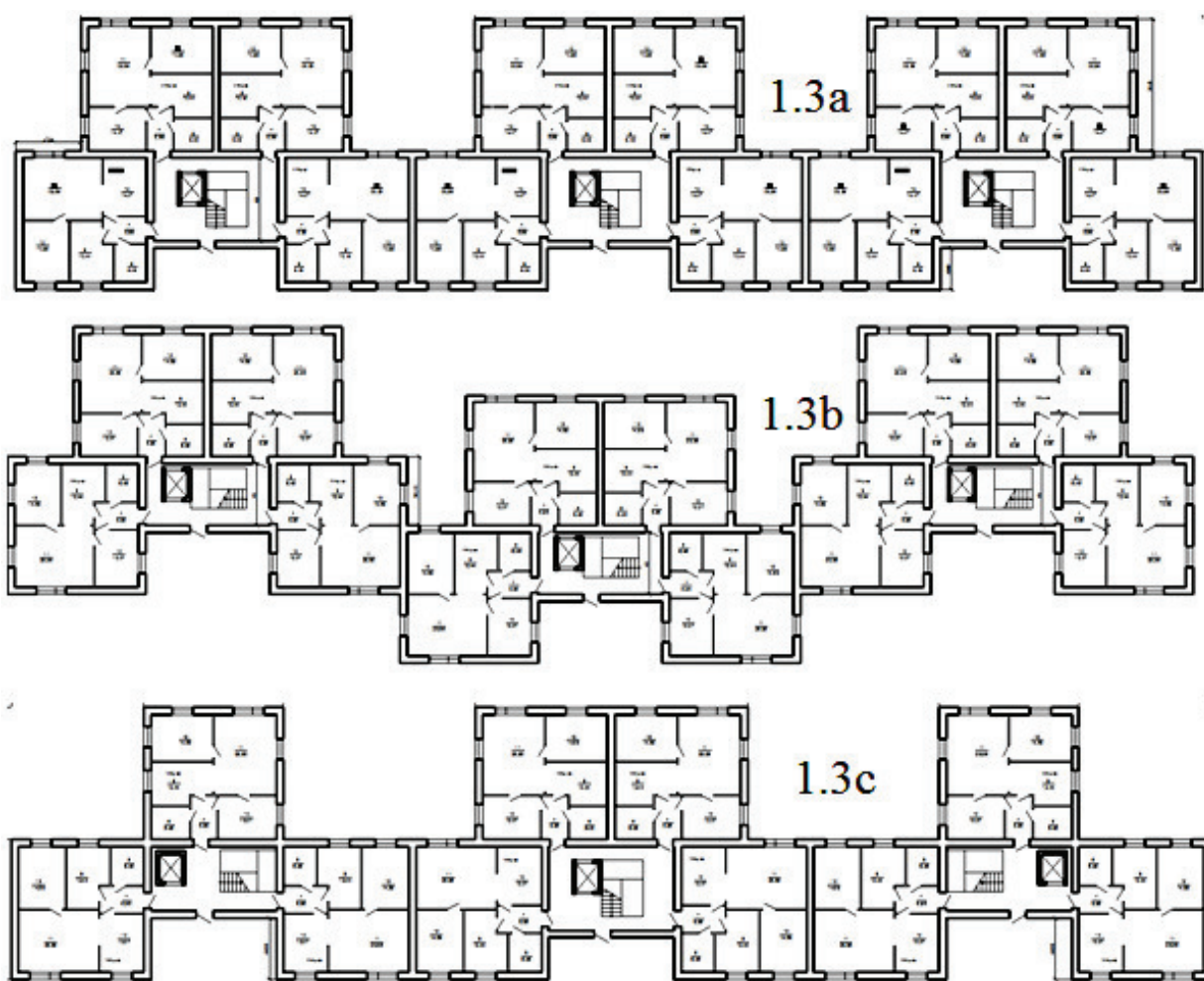
Žemiau pateikiami penkių aukštų blokinių tipo daugiabučių variantai (žiūr. 23, 25 pav.) ir koridoro planavimo daugiabučių variantai (žiūr. 24 pav.).



23 pav. 1.1a ir 1.1b daugiabučių variantai

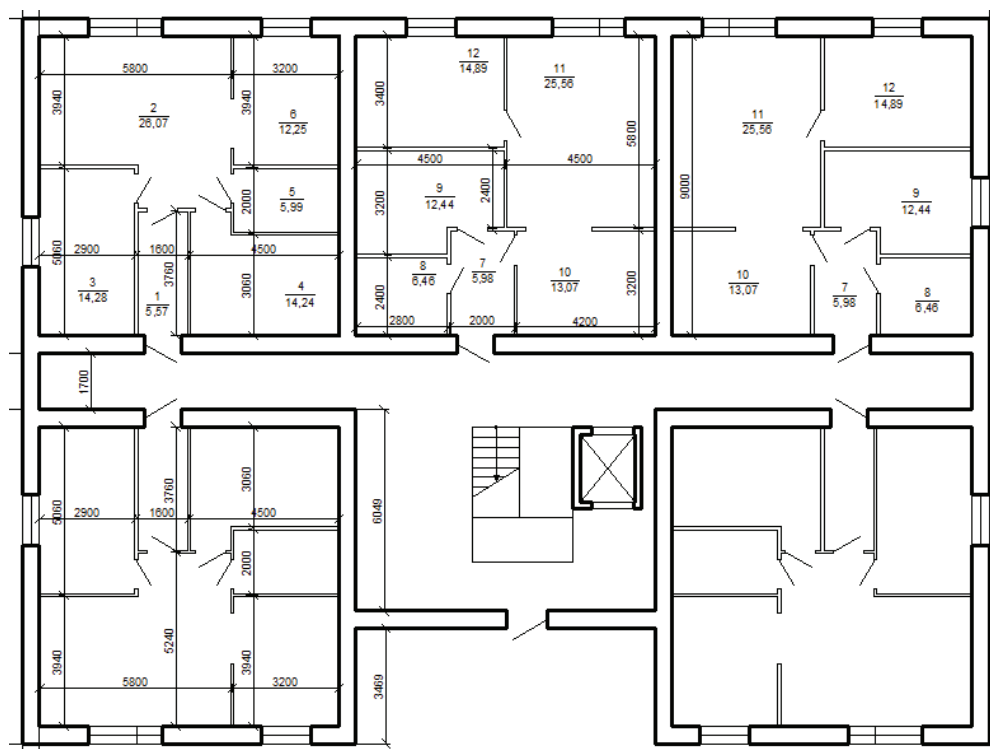


24 pav. 1.2a ir 1.2b daugiabučių variantai

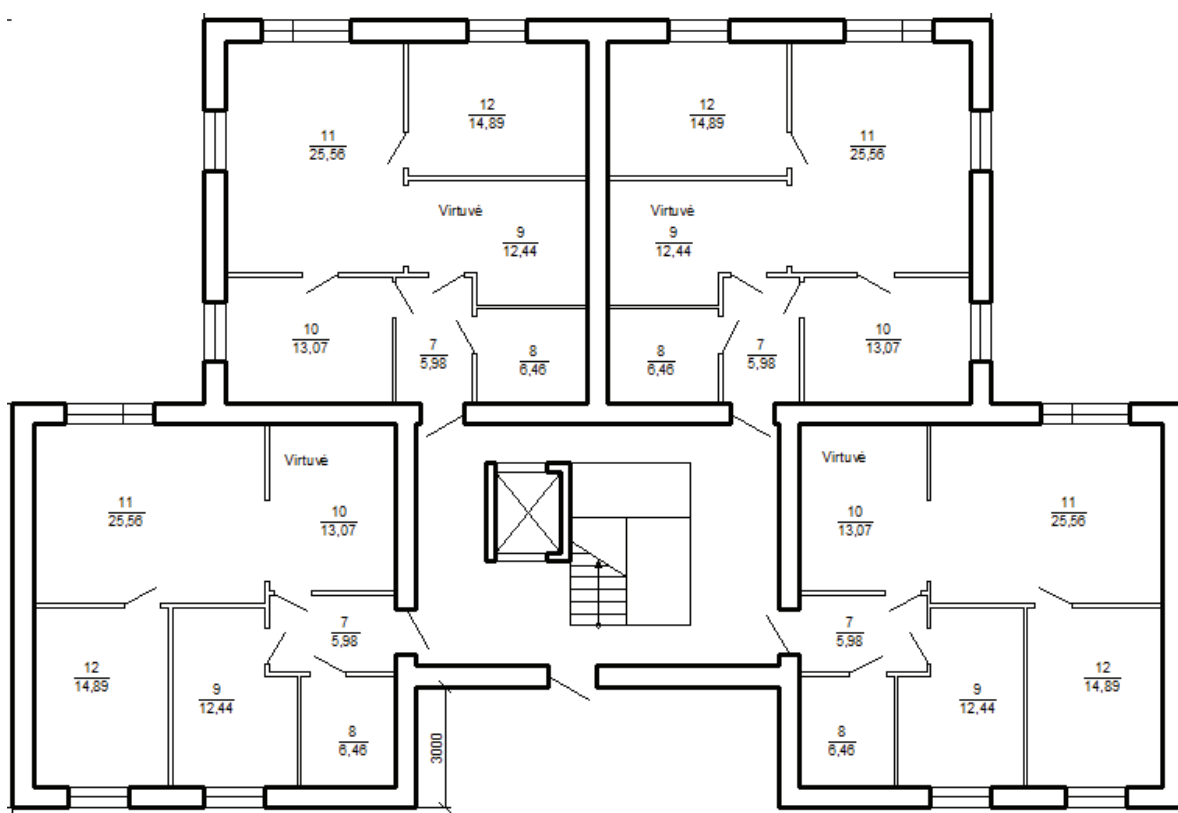


25 pav. 1.3a, 1.3b ir 1.3c daugiabučių variantai

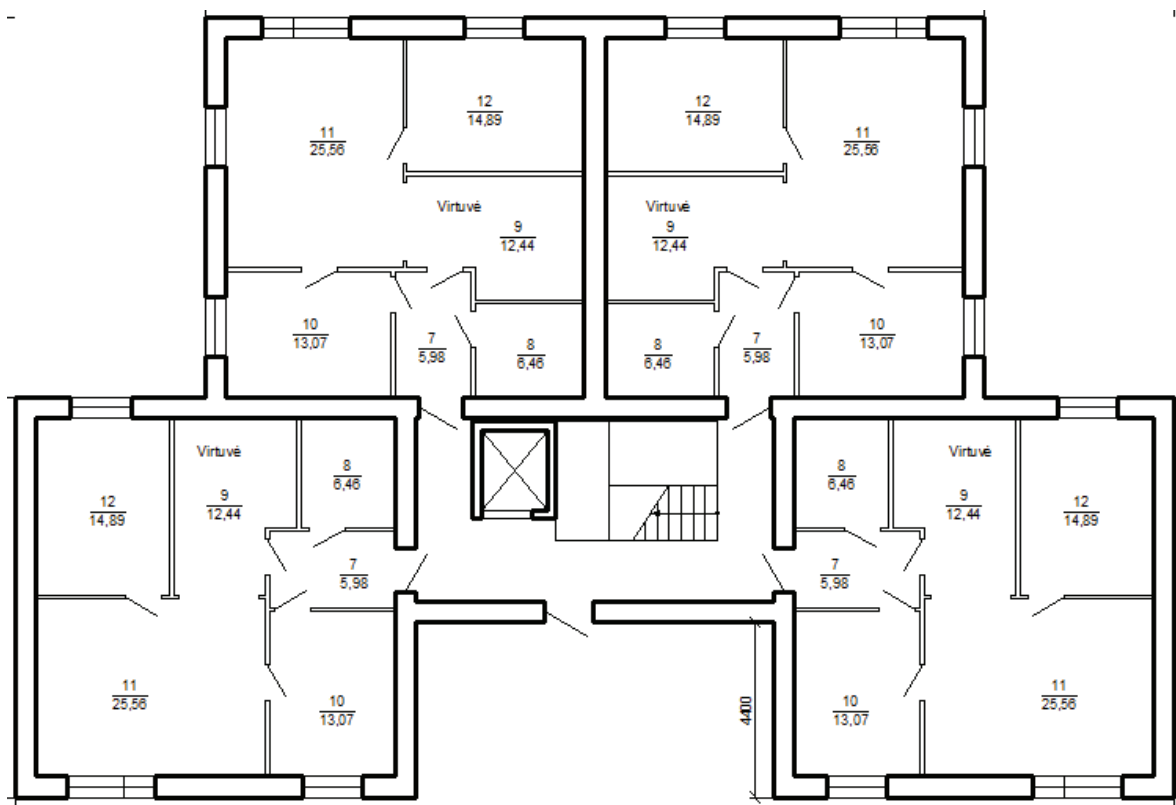
3 aukštų daugiabučiai variantai buvo suplanuoti vienos laiptinės po 5 butus (2.a variantas) ir po 4 butus laiptinėje (žiūr. 26, 27, 28 pav.).



26 pav. 2.a variantas



27 pav. 2.b variantas



28 pav. 2.c variantas

3.3. Daugiabučių variantų atranka

Visiems sudarytiems variantams buvo apskaičiuotas pastato kompaktiškumo koeficientas (žiūr. 5 lentelė). Kompaktiškumo koeficientas buvo skaičiuojamas vertinant pastato fasado ir šildomų grindų plotų santykį. Kuo koeficientas mažesnis, tuo pastatas kompaktiškesnis.

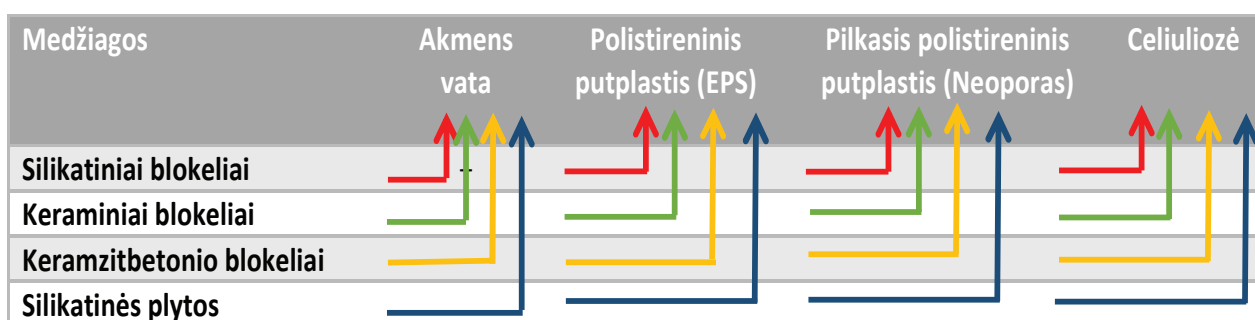
5 lentelė. Kompaktiškumo koeficiento reikšmės

Variantas	Koeficiento reikšmė
1.1a	0,996
1.1b	0,85
1.2a	0,86
1.2b	0,89
1.3a	0,81
1.3b	0,95
1.3c	1,00
2.a	0,76
2.b	0,88
2.c	0,94

Vienas iš kriterijų atrenkant daugiabučių variantus buvo pastato patalpų išdėstymas, kompaktiškumas. Taip pat buvo svarbu, kad būtų parinktas nors vienas trijų aukštų daugiabutis pastatas. Renkantis triaukštį pastatą buvo pasirinktas variantas su didžiausiu butų skaičiumi 2.a variantas. Iš penkiaaukščių pastatų atrinkti pakankamai skirtingi variantai, vienas daugiabutis koridorinio planavimo, netradicinės formos, tai 1.2b variantas, kitas variantas buvo atrinktas atsižvelgiant į šalčio tiltelius, kad kuo mažiau laužytų kampų, tai 1.3a variantas.

3.4. Atitvarų derinių formavimas ir analizė

Atrinktiems daugiabučių variantams buvo formuojami atitvarų deriniai (žiūr. 29 pav.), kurie visų pirma buvo lyginami ekonominiu atžvilgiu. Šiltinimo medžiagų pasirinkimui buvo labai svarbu šilumos perdavimo koeficientas ir aplinkosauginiai rodikliai. Formuojant derinius buvo svarbu, kad šiluminė varžos reikšmė atitiktų A energinės klasės reikalavimus. Nagrinėjant medžiagų pritaikymo galimybes šiltinimo variantas su celiulioze buvo atmestas, nes šis variantas labiau tinkamas mažaukščiems pastatams.



29 pav. Pastato išorinių atitvarų variantai

Sudaryti atitvarų deriniai palyginimui pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Atitvarų alternatyvos

Alternatyvos Nr.	Alternatyvos trumpas žymėjimas	Alternatyvos aprašymas	
		Atitvaros laikanti konstrukcija	Atitvaros šiltinimo medžiaga
A ₁	Silikatiniai_Akmens vata	Silikatiniai blokėliai 250 x 238 x 248 mm, vidutinis stipris gniuždant 12,5÷20 N/mm ² , atsparumas šalčiui 50 ciklai, $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_D = 0,58 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.	Akmens vata ($\lambda_D = 0.037 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$).
A ₂	Silikatiniai_EPS		Paprastas polistireninis putplastis (EPS 80), $\lambda_D = 0,038 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.
A ₃	Silikatiniai_Neoporas		Pilkasis polistireninis putplastis, $\lambda_D = \lambda_D = 0,029 - 0,034 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

6 lentelės pabaiga

A ₄	Keraminiai_Akmens vata	Keraminiai blokeliai 300x248x238, $U_D=0,68$ $W/(m^2K)$, $\lambda_{Dvid} = 0,19$ $W/(mK)$.	Akmens vata ($\lambda_D= 0.037$ $W/(m \cdot K)$.
A ₅	Keraminiai_EPS		Paprastas polistireninis putplastis (EPS 80), $\lambda_D=$ $0,038 W/(m \cdot K)$.
A ₆	Keraminiai_Neoporas		Pilkasis polistireninis putplastis, $\lambda_D= \lambda_D= 0,029$ $-0,034 W/(m \cdot K)$.
A ₇	Fibo_Akmens vata	Keramzitbetonio blokeliai 495x195x(200,250,300) mm, $\rho = 650 \text{ kg/m}^3$, atsparumas šalčiui ciklais F50, gniuždymo stipris 3 MPa, $\lambda_D = 0,18$ $W/(mK)$.	Akmens vata ($\lambda_D= 0.037$ $W/(m \cdot K)$.
A ₈	Fibo_EPS		Paprastas polistireninis putplastis (EPS 80), $\lambda_D=$ $0,038 W/(m \cdot K)$.
A ₉	Fibo_Neoporas		Pilkasis polistireninis putplastis, $\lambda_D= \lambda_D= 0,029$ $-0,034 W/(m \cdot K)$.
A ₁₀	Silikatinės plytos_Akmens vata	Silikatinės plytos 250x120x88, vidutinis gniuždymo stipris $12,5 \div 20, 25 \text{ N/mm}^2$, atsparumas šalčiui 50 ciklai, $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_D = 0,70 W/(m \cdot K)$.	Akmens vata ($\lambda_D= 0.037$ $W/(m \cdot K)$.
A ₁₁	Silikatinės plytos_EPS		Paprastas polistireninis putplastis (EPS 80), $\lambda_D=$ $0,038 W/(m \cdot K)$.
A ₁₂	Silikatinės plytos_Neoporas		Pilkasis polistireninis putplastis, $\lambda_D= \lambda_D= 0,029$ $-0,034 W/(m \cdot K)$.

Medžiagų kainos buvo paimtos pagal 2013 m. vasarą vyrausias rinkos kainas ir suskaičiuotos skirtingų derinių atitvarų detalių kainos (žiūr. 30 pav.). Kadangi išorės ir vidaus apdailos sluoksniai visai atvejais vienodi, jų kainos neįvertintos, laikomos koeficientu prilyginamu vienetui.

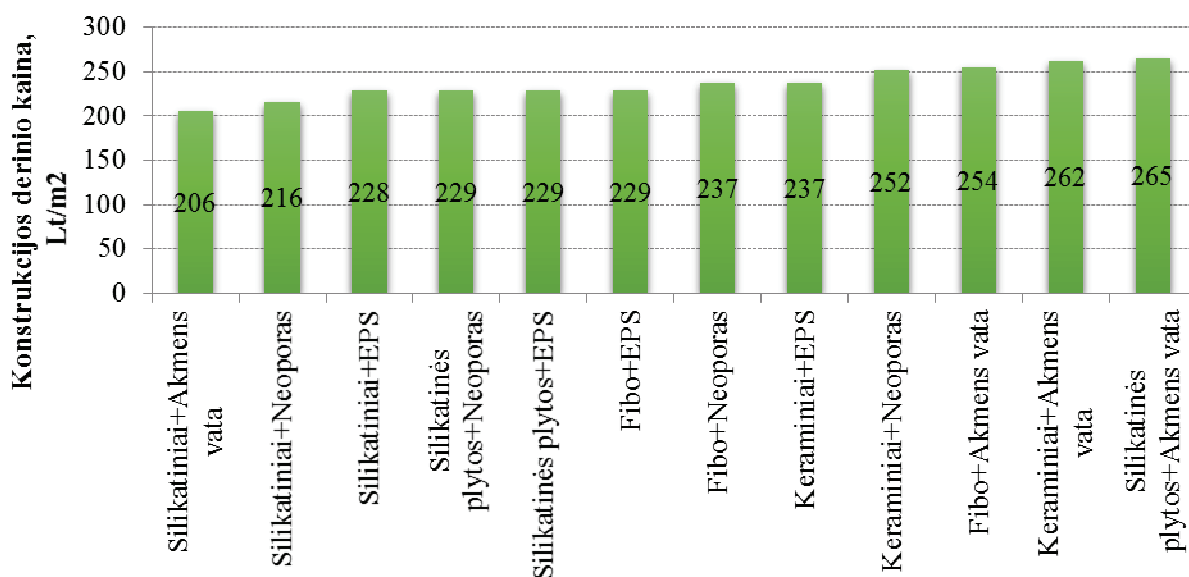
Atlikus ekonominį palyginimą kaip šiltinamo sluoksnio alternatyva buvo pasirinkta akmens vata ir prie jos derinami įvairūs blokeliai. Silikatinės plytos buvo atmestos dėl sudėtingesnio darbo metodikos ir didėjančių darbų kainų.

Norint atrinkti tinkamiausius variantus buvo atliekamas daugiatis vertinimas ARAS, SAW, TOPSIS, COPRAS metodais, įvertinti aplinkosauginiai rodikliai ir kaina. Antrojo etapo palyginimui buvo atrinkti šie kriterijai:

- ♦ Energinis atžvilgis x_1 – įkūnytosios (reikalingos pagaminti konstrukcinę medžiagą) energijos kiekiu;

- ♦ Ekologiniu atžvilgiu x_2 – įkūnytosios šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos rodikliu - GWP (kg CO₂ ekv/vnt.),
- ♦ x_3 – įkūnytosios ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančių dujų emisijos rodikliu (kg CFC-11 eq));
- ♦ Ekonominiu atžvilgiu x_4 – remiantis rinkos kaina nustatant alternatyvių konstrukcijų 1 m² kainą.

Šio etapo palyginimui buvo priskirti visiems kriterijams vienodi reikšmingumai. Pateikiama pradinė duomenų matrica 6 lentelėje.

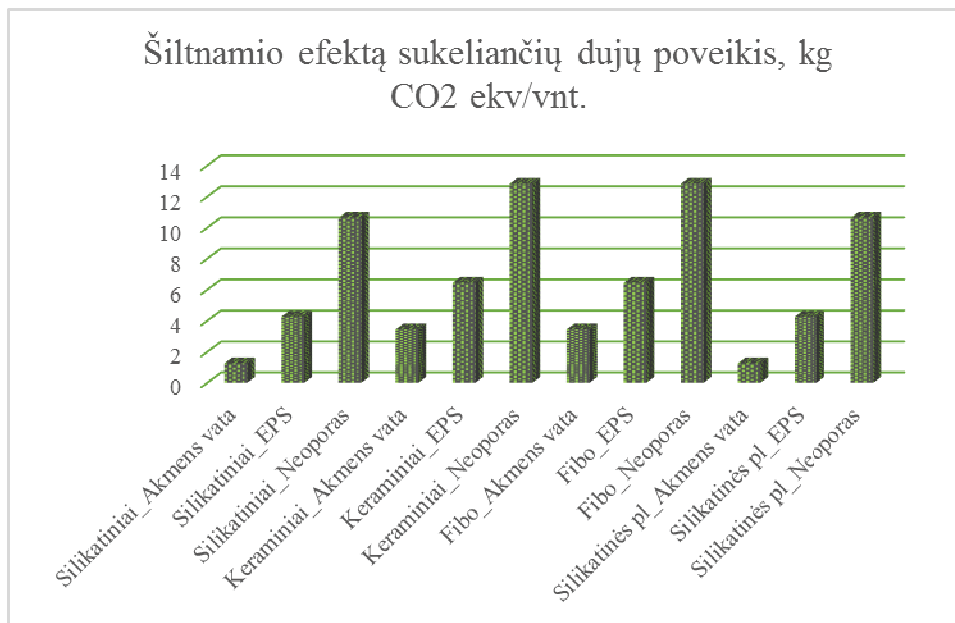


30 pav. Pastato išorinių atitvarų variantų kainos

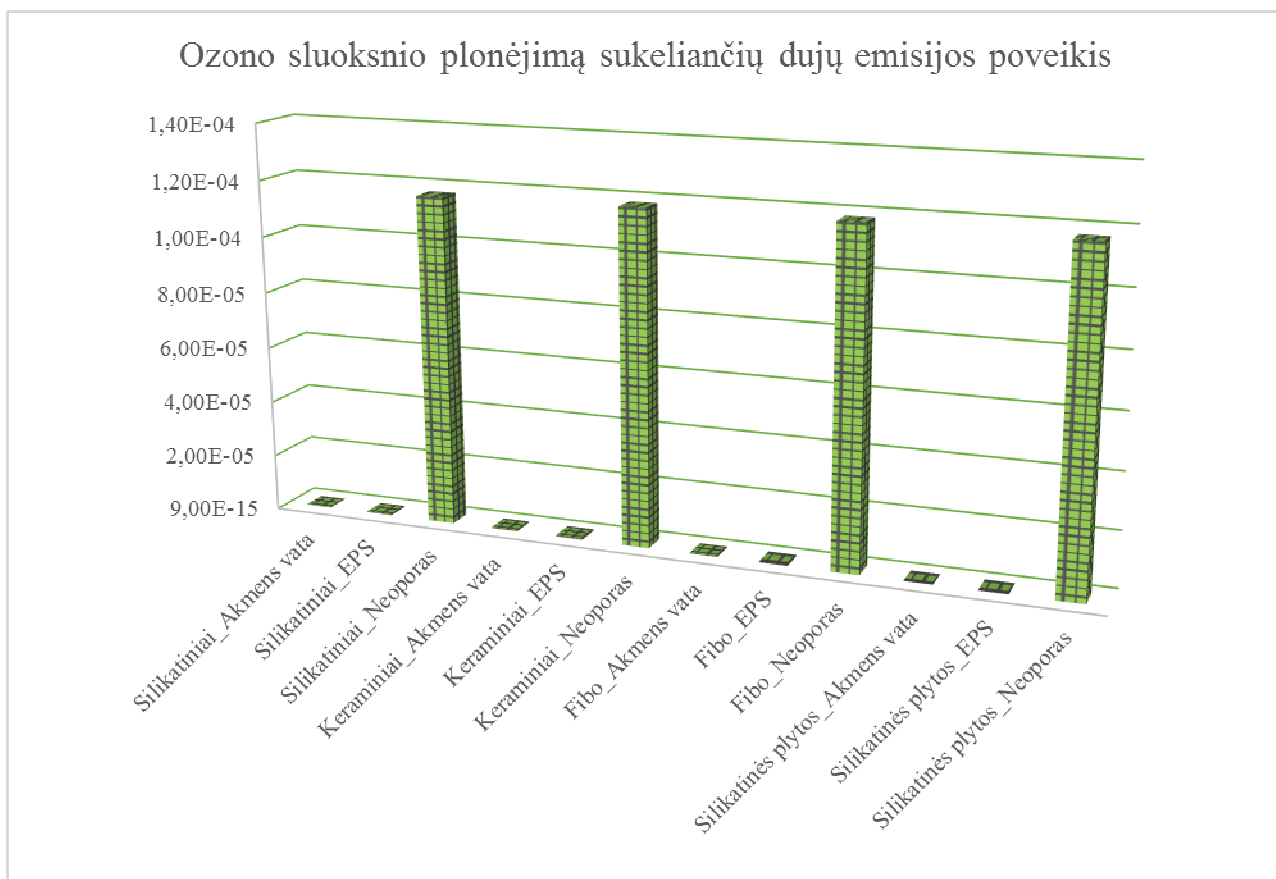
7 lentelė. Atitvarų derinių pradinė duomenų matrica

Duomenys		Kriterijai			
		x1	x2	x3	x4
Alternatyvos	A1	23,07	1,26	7,5E-08	252,00
	A2	107,49	4,27	2,31E-07	216,00
	A3	102,04	10,65	0,000117	206,00
	A4	46,9	3,44	2,98E-07	262,00
	A5	131,32	6,45	4,54E-07	237,00
	A6	125,87	12,83	0,000118	237,00
	A7	46,9	3,44	2,98E-07	254,00
	A8	131,32	6,45	4,54E-07	229,00
	A9	125,87	12,83	0,000118	229,00
	A10	23,07	1,26	7,5E-08	265,00
	A11	107,49	4,27	2,31E-07	229,00
	A12	102,04	10,65	0,000117	228,00

Iš pradinių duomenų matricos taip pat buvo sudaromos diagramos (žiūr. 31,32 pav.) iš kurių matomas iš medžiagų išsiskiriančių dujų poveikis aplinkai. Pagal diagramas vienareikšmiškai matos, kad šiltinimo sluoksnio pasirinkimas turi didelę įtaką gamtai. Šiuo atveju pilkasis poliestireninis putplastis išskiria daugiausia nuodingųjų dujų, deriniai su silikatiniais blokėliais ir akmens vata ekologiškiausi.



31 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų poveikis



32 pav. Ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančios dujos

Atlikus skaičiavimus išeities duomenys pateikiami 8,9,10,11 lentelėse.

8 lentelė. SAW metodu atliktų skaičiavimų rezultatai

Duomenys		Kriterijai				Σ
		x1	x2	x3	x4	
Alternatyvos	A1	0,250	0,250	0,250	0,204	0,954
	A2	0,054	0,074	0,081	0,238	0,447
	A3	0,057	0,030	0,000	0,250	0,336
	A4	0,123	0,092	0,063	0,197	0,474
	A5	0,044	0,049	0,041	0,217	0,351
	A6	0,046	0,025	0,000	0,217	0,288
	A7	0,123	0,092	0,063	0,203	0,480
	A8	0,044	0,049	0,041	0,225	0,359
	A9	0,046	0,025	0,000	0,225	0,295
	A10	0,250	0,250	0,250	0,194	0,944
	A11	0,054	0,074	0,081	0,225	0,433
	A12	0,057	0,030	0,000	0,226	0,312

9 lentelė. COPRAS metodu atliktų skaičiavimų rezultatai

Santykinis reikšmingumas		Rodiklio naudingumo laipsnis		
Q ₁	0,053	N ₁	100,0%	
Q ₂	0,047	N ₂	88,5%	Silikatiniai blokėliai
Q ₃	0,019	N ₃	35,6%	
Q ₄	0,051	N ₄	96,2%	Keraminiai blokėliai
Q ₁	0,038	N ₅	72,4%	
Q ₂	0,019	N ₆	35,6%	
Q ₃	0,052	N ₇	99,2%	Keramzitiniai blokėliai
Q ₄	0,038	N ₈	72,4%	
Q ₁	0,019	N ₉	35,6%	
Q ₂	0,050	N ₁₀	95,1%	Silikatinės plytos
Q ₃	0,047	N ₁₁	88,5%	
Q ₄	0,019	N ₁₂	35,6%	
Q _{max}	0,053			

10 lentelė.

TOPSIS metodu atliktų skaičiavimų rezultatai

Idealiai geriausias atstumas		Neigiamai idealus atstumas		K_{BITi}	
L ₊₁	0,014	L ₋₁	0,184	K_{BIT1}	0,929

10 lentelės pabaiga

L+ ₂	0,068		L- ₂	0,150		K _{BIT2}	0,688
L+ ₃	0,164		L- ₃	0,035		K _{BIT3}	0,175
L+ ₄	0,032		L- ₄	0,165		K _{BIT4}	0,838
L+ ₅	0,094		L- ₅	0,139		K _{BIT5}	0,596
L+ ₆	0,183		L- ₆	0,009		K _{BIT6}	0,049
L+ ₇	0,031		L- ₇	0,165		K _{BIT7}	0,843
L+ ₈	0,094		L- ₈	0,139		K _{BIT8}	0,597
L+ ₉	0,182		L- ₉	0,012		K _{BIT9}	0,060
L+ ₁₀	0,018		L- ₁₀	0,184		K _{BIT10}	0,911
L+ ₁₁	0,069		L- ₁₁	0,150		K _{BIT11}	0,686
L+ ₁₂	0,164		L- ₁₂	0,032		K _{BIT12}	0,163

11 lentelė. ARAS metodu atliktų skaičiavimų rezultatai

	Max/ min	A (a ₁)	B (a ₂)	C (a ₃)	D (a ₄)	E (a ₅)	F (a ₆)	G (a ₇)	H (a ₈)	I (a ₉)	J (a ₁₀)	K (a ₁₁)	L (a ₁₂)	Opt. (a _o)
x ₁	Min	0,052	0,011	0,012	0,025	0,009	0,009	0,025	0,009	0,009	0,052	0,011	0,012	0,013
x ₂	Min	0,058	0,017	0,007	0,021	0,011	0,006	0,021	0,011	0,006	0,058	0,017	0,007	0,011
x ₃	Min	0,072	0,023	0,000	0,018	0,012	0,000	0,018	0,012	0,000	0,072	0,023	0,000	0,000
x ₄	Min	0,018	0,021	0,022	0,017	0,019	0,019	0,018	0,020	0,020	0,017	0,020	0,020	0,021
R _j		0,199	0,072	0,040	0,082	0,051	0,034	0,082	0,052	0,035	0,198	0,071	0,038	0,045

Pagal gautus išeities duomenis sudaromos alternatyvų prioritetų eilutės, kurios pateikiamos 12 lentelėje. Iš jų matoma kad vienareikšmiškai A1 alternatyva geriausia, tai silikatiniai blokeliai su akmens vata. Kitos dominuojančios alternatyvos tai A7, A10 ir A4.

12 lentelė. Sienų konstrukcijų alternatyvų palyginimo rezultatų prioritetų eilutės

Pritaikytas metodas	Alternatyvų prioritetų eilutės
COPRAS	A1>A7>A4>A10>A2>A11>A5>A8>A3>A6>A9>A12
TOPSIS	A1>A10>A7>A4>A11>A2>A8>A5>A12>A3>A9>A6
ARAS	A1>A10>A7>A4>A2>A11>A7>A5>A3>A12>A9>A6
SAW	A1>A10>A7>A4>A2>A11>A8>A5>A3>A12>A9>A6

Atlikus palyginimą ir atrinkus daugiabučių bei atitvarų variantus tolimesniems tyrimams, buvo kuriami pastatų aprašymai (žiūr. 13,15,17 lenteles) ir langų bei durų specifikacijos (žiūr. 14,16,18 lenteles).

13 lentelė. 1.2b daugiabučio varianto aprašymas su silikatiniais blokeliais

Daugiabučiai gyvenamieji namai Vilniuje	
Dalinės apdailos aprašymas 1.2.b.variantas (silikatiniai blokeliai)	
Aukštų skaičius	5
Aukšto aukštis	Buto patalpų aukštis nuo išlyginamojo grindų sluoksnio iki perdengimo plokštės lubų ne mažiau 2,70 m.
Pamatai	Poliniai gręžtiniai gelžbetoniniai pamatai 128 polių, Ø 560 mm, 3000mm, C20/25 betono klasės ir monolitinis gelžbetoninis rostverkas 800x220x200 C25/30 betono klasės ir rostverke 900x1900x800 po 2 polius Ø 560 mm, 4000mm (64 poliai).
Pastato laikančiosios konstrukcijos	Namo laikančiosios konstrukcijos – kvadratinio skerspjuvio 400/400 gelžbetoninės kolonos (32 vnt), ant kurių remiasi gelžbetoninės sijos 18 vnt. RL17 tipo sijų, RT16 9 vnt.
Stogas	Plokščias, apšiltintas akmens vata PAROC ROS30 180 mm + PAROC ROS50 120 mm, (Reikiamas tvirtinimo elementų kiekis stogo centrinėse zonose, vnt/m ² : 16, stogo pakraščių zonose, vnt/m ² : 39, stogo kampų zonose, vnt/m ² : 58. Stogo danga ruloninė 2 sluoksnių apatinis MIDA UNIFLEKS V S3s 3 mm, viršutinis MIDA UNIFLEKS V S4b, su vidine lietaus vandens nutekėjimo sistema.
Išorinės sienos	Silikatiniai blokeliai 250x238x248 apšiltinti 300 mm akmens vata PAROC FAS B. Vata klijuojama prie blokelių 5 mm klijų sluoksniu. Fasado apdaila – ant vatos tvirtinamas armavimo sluoksnis 4 mm (Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190 Armavimo masė; rišiklis cementas. Capatect-Gewebe 650 Stiklo pluošto armavimo tinklelis), jis nugruntuojamas (Knauf Putzgrund Fassade) ir tinkuojamas fasadiniu polimeriniu tinku 6 mm. Priekinis fasadas stiklinis. Stogeliai virš įėjimų į pastatą – stikliniai 2000x1000 mm, lengvų k-jų.
Vidinės sienos tarp butų, tarp butų ir laiptinių, holų.	Trisluoksnio mūro iš silikatinų blokelių 250x238x248 nutinkuotos, nuglaistytos, nudažytos, tarp blokelių įrengta garso izoliacija, 50 mm, MULTIROCK 35. Atitvaros tarp buto ir laiptinės ir atitvaros tarp buto ir buto atitinka ne žemesnę išorinių atitvarų garso klasę kaip C pagal STR2.01.07:2003.

Pertvaros	Buto vidaus pertvaros tarp kambarių – 66 mm plieninis karkasas, kas 600 mm / 70mm PAROC eXtra ir iš abiejų pusių padengtas vieno sluoksnio gipso kartono plokštėmis 12,5 mm. Paviršius glaistytas (polimeriniu glaistu SAKRET LH) 4 mm, dažytas lateksiniais dažais (Latex Satin 20), išeiga 140 ml/m ² . Bendras pertvaros storis – ne mažiau kaip 10 cm, sanitarinių mazgų – mūrinės, tinkuotos 5 mm, glaistytos, dažytos.
Perdangos	Surenkamos gelžbetonio plokštės iš betonikos HCS 250.
Lubos	Buto patalpų aukštis nuo išlyginamojo grindų sluoksnio iki perdengimo plokštės lubų ne mažiau 2,70 m. (Lubos nutinkuojamos 5mm, nuglaistomos 5mm ir nudažomos).
Grindys	Visame buto plote įrengta smūginio garso izoliacija PAROC SSB1 50 mm, cementinis (C8/10) grindų išlyginamasis pagrindas 50 mm. Vonios kambariuose ir virtuvėje ant betoninio išlyginamojo sluoksnio įrengiama teptinė hidroizoliacija ir klijuojamos plytelės (12 mm) dispersiniais klijais 4 mm, kituose kambariuose plaukiojančios medinės grindys 6 mm.
Langai	Butuose įstatyti 6 – ių kamerų plastikinių langų rėmai, užpildyti vienos kameros stiklo paketais, vidinis stiklas - selektyvinis. Bent vienas langas kambaryje varstomas dviem kryptimis. Vidaus palangės montuojamos plastikinės. Svetainės languose įrengiamos akustinės orlaidės oro pritekėjimui į patalpas, balkonų durys.
Durys	Įėjimo į butą durys D1 „Šarvo“ tipo, dviem spynomis, varčia, išoriniai apvadai – medžio dulkių plokštė, su plačiakampe akute ir buto numeriuku, slenkstis – nerūdijančio plieno. Butuose kambario durys D2 faneruotos.
Balkonai	Surenkamos gelžbetonio plokštės 3000x700. Sumontuojami metaliniai aptvėrimai priekinėje balkonų dalyje, užpildas – stiklas, atitvaros tarp atskirų balkonų – aukšto slėgio laminato plokštė.
Bendro naudojimo patalpų apdaila	
Įėjimo holas, holai prie liftų.	Sienos – dekoratyvinis tinkas. Lubos - dažytos, dalinai apklijuotos akustinėmis plokštėmis. Liftu holuose grindų danga ir grindjuostės – akmens masės plytelės.
Durys	Įėjimo į pastato laiptinę durys (paradinės) - aliuminio rėmas, stiklo paketas laminuotas - grūdintas. Durys su elektromagnetine sklende, iš lauko su nelankstoma rankena ir spyna, rakinama raktu, su pritraukikliais. Įėjimo į technines patalpas durys - metalinės, apšiltintos, dažytos

	miltelinio būdu, su pritraukikliu, rakinamos. Durys tarp laiptinės ir holo – profilinės durys su grūdintu stiklu. Apskaitos nišų/spintų holuose durys – standartinių matmenų plieninės.
Laiptinė	Grindys - pakopos ir laiptų aikštelės apklijuotos akmens masės plytelėmis. Sienos – dekoratyvinis tinkas 4 mm. Lubos – dažytas betonas, fragmentiškai klijuotos akustinėmis plokštėmis (gelžbetonis). Turėklai laiptinėje – dažyti, porankiai - metaliniai, dažyti.
Keleivinis liftas	Lifto apdaila – nerūdijantis plienas.

14 lentelė. 1.2b pastato langų ir durų specifikacijos

Langų durų specifikacija:	
Langai, durys	Skaičius (vnt.)
L1 (1500x1900)	18
L2 (1500x2700)	11
L3 (2300x1740 + 2300x900)	9
D1 (2100x980)	9
D2 (2100x900)	36

15 lentelė. 2.a pastato aprašymas su keramzitiniais blokeliais

Daugiabučiai gyvenamieji namai Vilniuje	
Dalinės apdailos aprašymas 2.a. variantas (FIBO blokeliai)	
Aukštų skaičius	3
Aukšto aukštis	Buto patalpų aukštis nuo išlyginamojo grindų sluoksnio iki perdengimo plokštės lubų ne mažiau 2,70 m.
Pamatai	Poliniai gręžtiniai gelžbetoniniai pamatai 90 polių, Ø 560 mm, 3000mm, C20/25 betono klasės ir monolitinis gelžbetoninis rostverkas 800x220x200 C25/30 betono klasės.
Pastato laikančiosios konstrukcijos	Namo laikančiosios konstrukcijos – keramzitetonio blokeliai 495x195x300.
Stogas	Plokščias, apšiltintas akmens vata PAROC ROS30 180 mm + PAROC ROS50 120 mm, (Reikiamas tvirtinimo elementų kiekis stogo centrinėse zonose, vnt/m2: 16, stogo pakraščių zonose, vnt/m2: 39, stogo kampų zonose, vnt/m2: 58. Stogo danga ruloninė 2 sluoksnių apatinis MIDA UNIFLEKS V S3s 3 mm, viršutinis MIDA UNIFLEKS V S4b, su vidine lietaus vandens nutekėjimo sistema.

Išorinės sienos	keramzitbetonio blokeliai 495x195x300 apšiltinti 250 mm akmens vata PAROC FAS B. Vata klijuojama prie blokelių 5 mm klijų sluoksniu. Fasado apdaila – ant vatos tvirtinamas armavimo sluoksnis 4 mm (Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190 Armavimo masė; rišiklis cementas. Capatect-Gewebe 650 Stiklo pluošto armavimo tinklelis), jis nugruntuojamas (Knauf Putzgrund Fassade) ir tinkuojamas fasadiniu polimeriniu tinku 6 mm. Stogeliai virš įėjimų į pastatą – stikliniai 2000x1000 mm, lengvų k-jų.
Vidinės sienos tarp butų, tarp butų ir laiptinių, holų.	Trisluoksnio mūro iš keramzitbetonio blokelių 495x195x250 nutinkuotos, nuglaistytos, nudažytos, tarp blokelių įrengta garso izoliacija, 50 mm, MULTIROCK 35. Atitvaros tarp buto ir laiptinės ir atitvaros tarp buto ir buto atitinka ne žemesnę išorinių atitvarų garso klasę kaip C pagal STR2.01.07:2003.
Pertvaros	Buto vidaus pertvaros tarp kambarių – 66 mm plieninis karkasas, kas 600 mm / 70mm PAROC eXtra ir iš abiejų pusių padengtas vieno sluoksnio gipso kartono plokštėmis 12,5 mm. Paviršius glaistytas (polimeriniu glaistu SAKRET LH) 4 mm, dažytas lateksiniais dažais (Latex Satin 20), išeiga 140 ml/m². Bendras pertvaros storis – ne mažiau kaip 10 cm, sanitarinių mazgų – mūrinės, tinkuotos 5 mm, glaistytos, dažytos.
Perdangos	Surenkamos gelžbetonio plokštės iš betonikos HCS 250.
Lubos	Buto patalpų aukštis nuo išlyginamojo grindų sluoksnio iki perdengimo plokštės lubų ne mažiau 2,70 m. (Lubos nutinkuojamos 5mm, nuglaistomos 5mm ir nudažomos).
Grindys	Visame buto plote įrengta smūginio garso izoliacija PAROC SSB1 50 mm, cementinis (C8/10) grindų išlyginamasis pagrindas 50 mm. Vonios kambariuose ir virtuvėje ant betoninio išlyginamojo sluoksnio įrengiama teptinė hidroizoliacija ir klijuojamos plytelės (12 mm) dispersiniais klijais 4 mm, kituose kambariuose plaukiojančios medinės grindys 6 mm.
Langai	Butuose įstatyti 6 – ių kambarių plastikinių langų rėmai, užpildyti vienos kameros stiklo paketais, vidinis stiklas - selektyvinis. Bent vienas langas kambaryje varstomas dviem kryptimis. Vidaus palangės montuojamos plastikinės. Svetainės languose įrengiamos akustinės orlaidės oro pritekėjimui į patalpas, balkonų durys.
Durys	Įėjimo į butą durys D1 „Šarvo“ tipo, dviem spynomis, varčia, išoriniai apvadai – medžio dulkių plokštė, su plačiakampe akute ir buto numeriuku,

Durys	slenkstis – nerūdijančio plieno. Butuose kambario durys D2 faneruotos.
Balkonai	Surenkamos gelžbetonio plokštės 3000x700. Sumontuojami metaliniai aptvėrimai priekinėje balkonų dalyje, užpildas – stiklas, atitvaros tarp atskirų balkonų – aukšto slėgio laminato plokštė.
Bendro naudojimo patalpų apdaila	
Įėjimo holas, holai prie liftų.	Sienos – dekoratyvinis tinkas. Lubos – dažytos, dalinai apklijuotos akustinėmis plokštėmis. Liftu holuose grindų danga ir grindjuostės – akmens masės plytelės.
Durys	Įėjimo į pastato laiptinę durys (paradinės) - aliuminio rėmas, stiklo paketas laminuotas - grūdintas. Durys su elektromagnetine sklende, iš lauko su nelankstoma rankena ir spyna, rakinama raktu, su pritraukikliais. Įėjimo į technines patalpas durys – metalinės, apšiltintos, dažytos milteliniu būdu, su pritraukikliu, rakinamos. Durys tarp laiptinės ir holo – profilinės durys su grūdintu stiklu. Apskaitos nišų/spintų holuose durys – standartinių matmenų plieninės.
Laiptinė	Grindys – pakopos ir laiptų aikštelės apklijuotos akmens masės plytelėmis. Sienos – dekoratyvinis tinkas 4 mm. Lubos – dažytas betonas, fragmentiškai klijuotos akustinėmis plokštėmis (gelžbetonis). Turėklai laiptinėje – dažyti, porankiai - metaliniai, dažyti.
Keleivinis liftas	Liftu apdaila – nerūdijantis plienas.

16 lentelė. 2.a pastato langų ir durų specifikacijos

Langų durų specifikacija:	
Langai, durys	Skaičius (vnt.)
L1 (1500x1900)	6
L2 (1500x2700)	3
L3 (2300x1740 + 2300x900)	5
D1 (2100x980)	5
D2 (2100x900)	20

17 lentelė. 1.3a pastato aprašymas su keramzitiniais blokeliais

Daugiabučiai gyvenamieji namai Vilniuje	
Dalinės apdailos aprašymas 1.3.a.variantas (Keramikiniai blokeliai)	
Aukštų skaičius	5
Aukšto aukštis	Buto patalpų aukštis nuo išlyginamojo grindų sluoksnio iki perdengimo plokštės lubų ne mažiau 2,70 m.

Pamatai	Poliniai gręžtiniai gelžbetoniniai pamatai 148 polių, Ø 560 mm, 3000mm, C20/25 betono klasės ir monolitinis gelžbetoninis rostverkas 800x220x200 C25/30 betono klasės ir rostverke 900x1900x800 po 2 polius Ø 560 mm, 4000mm (88 poliai).
Pastato laikančiosios konstrukcijos	Namo laikančiosios konstrukcijos – kvadratinio skerspjūvio 400/400 gelžbetoninės kolonos (44 vnt), ant kurių remiasi gelžbetoninės sijos 21 vnt. RL17 tipo sijų, RT16 12 vnt.
Stogas	Plokščias, apšiltintas akmens vata PAROC ROS30 180 mm + PAROC ROS50 120 mm, (Reikiamas tvirtinimo elementų kiekis stogo centrinėse zonose, vnt/m ² : 16, stogo pakraščių zonose, vnt/m ² : 39, stogo kampų zonose, vnt/m ² : 58. Stogo danga ruloninė 2 sluoksnių apatinis MIDA UNIFLEKS V S3s 3 mm, viršutinis MIDA UNIFLEKS V S4b, su vidine lietaus vandens nutekėjimo sistema.
Išorinės sienos	Keramikiniai blokeliai 300x248x238 apšiltinti 250 mm akmens vata PAROC FAS B. Vata klijuojama prie blokelių 5 mm klijų sluoksniu. Fasado apdaila – ant vatos tvirtinamas armavimo sluoksnis 4 mm (Capatect-Klebe-und Spachtelmasse 190 Armavimo masė; rišiklis cementas. Capatect-Gewebe 650 Stiklo pluošto armavimo tinklelis), jis nugruntuojamas (Knauf Putzgrund Fassade) ir tinkuojamas fasadiniu polimeriniu tinku 6 mm. Stogeliai virš įėjimų į pastatą – stikliniai 2000x1000 mm, lengvų k-jų.
Vidinės sienos tarp butų, tarp butų ir laiptinių, holų.	Trisluoksnio mūro iš keramikinių blokelių 300x248x238 nutinkuotos, nuglaistytos, nudažytos, tarp blokelių įrengta garso izoliacija, 50 mm, MULTIROCK 35. Atitvaros tarp buto ir laiptinės ir atitvaros tarp buto ir buto atitinka ne žemesnę išorinių atitvarų garso klasę kaip C pagal STR2.01.07:2003.
Pertvaros	Buto vidaus pertvaros tarp kambarių – 66 mm plieninis karkasas, kas 600 mm / 70mm PAROC eXtra ir iš abiejų pusių padengtas vieno sluoksnio gipso kartono plokštėmis 12,5 mm. Paviršius glaistytas (polimeriniu glaistu SAKRET LH) 4 mm, dažytas lateksiniais dažais (Latex Satin 20), išeiga 140 ml/m ² . Bendras pertvaros storis – ne mažiau kaip 10 cm, sanitarinių mazgų – mūrinės, tinkuotos 5 mm, glaistytos, dažytos.
Perdangos	Surenkamos gelžbetonio plokštės iš betonikos HCS 250.
Lubos	Buto patalpų aukštis nuo išlyginamojo grindų sluoksnio iki perdengimo

	plokštės lubų ne mažiau 2,70 m. (Lubos nutinkuojamos 5mm, nuglaistomos 5mm ir nudažomos).
Grindys	Visame buto plote įrengta smūginio garso izoliacija PAROC SSB1 50 mm, cementinis (C8/10) grindų išlyginamasis pagrindas 50 mm. Vonios kambariuose ir virtuvėje ant betoninio išlyginamojo sluoksnio įrengiama teptinė hidroizoliacija ir klijuojamos plytelės (12 mm) dispersiniais klijais 4 mm, kituose kambariuose plaukiojančios medinės grindys 6 mm.
Langai	Butuose įstatyti 6 – ių kamerų plastikinių langų rėmai, užpildyti vienos kameros stiklo paketais, vidinis stiklas - selektyvinis. Bent vienas langas kambaryje varstomas dviem kryptimis. Vidaus palangės montuojamos plastikinės. Svetainės languose įrengiamos akustinės orlaidės oro pritekėjimui į patalpas, balkonų durys.
Durys	Įėjimo į butą durys D1 „Šarvo“ tipo, dviem spynomis, varčia, išoriniai apvadai – medžio dulkių plokštė, su plačiakampe akute ir buto numeriuku, slenkstis – nerūdijančio plieno. Butuose kambario durys D2 faneruotos.
Balkonai	Surenkamos gelžbetonio plokštės 3000x700. Sumontuojami metaliniai aptvėrimai priekinėje balkonų dalyje, užpildas – stiklas, atitvaros tarp atskirų balkonų – aukšto slėgio laminato plokštė.
Bendro naudojimo patalpų apdaila	
Įėjimo holas, holai prie liftų.	Sienos – dekoratyvinis tinkas. Lubos - dažytos, dalinai apklijuotos akustinėmis plokštėmis. Lifto holuose grindų danga ir grindjuostės – akmens masės plytelės.
Durys	Įėjimo į pastato laiptinę durys (paradinės) - aliuminio rėmas, stiklo paketas laminuotas - grūdintas. Durys su elektromagnetine sklende, iš lauko su nelankstoma rankena ir spyna, rakinama raktu, su pritraukikliais. Įėjimo į technines patalpas durys - metalinės, apšiltintos, dažytos milteliniu būdu, su pritraukikliu, rakinamos. Durys tarp laiptinės ir holo– profilinės durys su grūdintu stiklu. Apskaitos nišų/spintų holuose durys – standartinių matmenų plieninės.
Laiptinė	Grindys - pakopos ir laiptų aikštelės apklijuotos akmens masės plytelėmis. Sienos – dekoratyvinis tinkas 4 mm. Lubos – dažytas betonas, fragmentiškai klijuotos akustinėmis plokštėmis (gelžbetonis).

	Turėklai laiptinėje – dažyti, porankiai - metaliniai, dažyti.
Keleivinis liftas	Lifto apdaila – nerūdijantis plienas.

18 lentelė. 1.3.a pastato langų ir durų specifikacijos

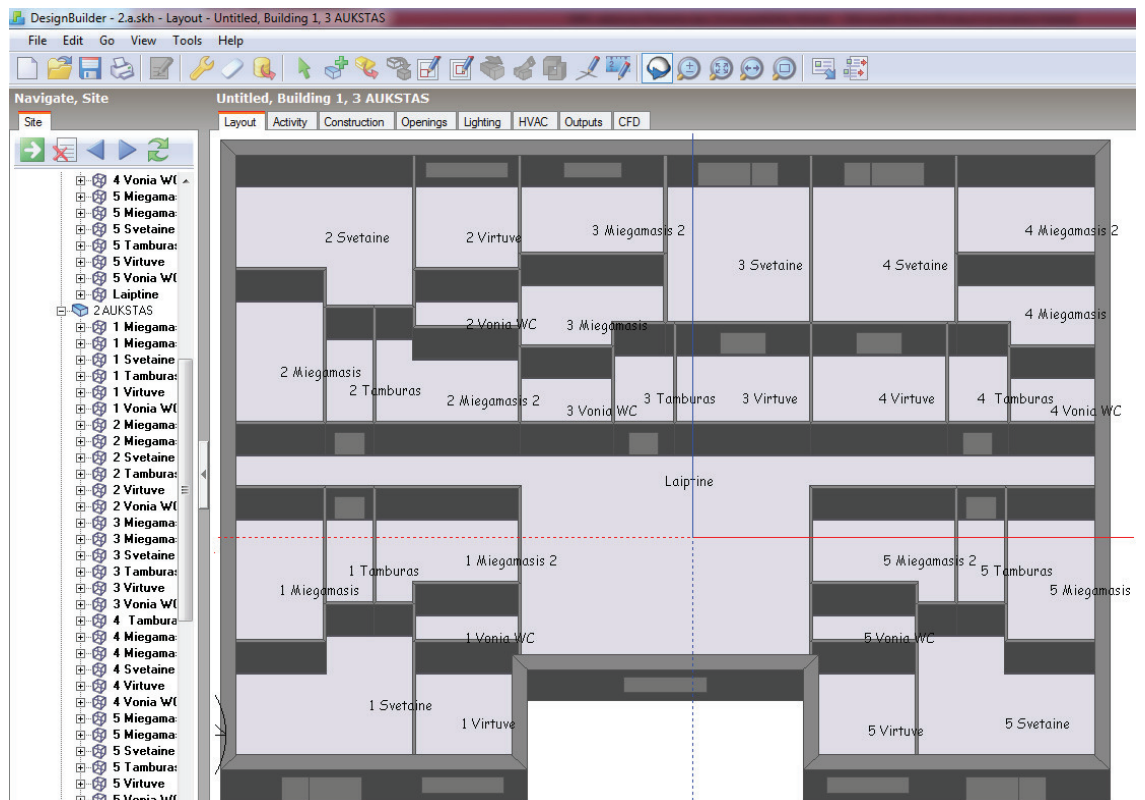
Langų durų specifikacija:	
Langai, durys	Skaičius (vnt.)
L1 (1500x1900)	24
L3 (2300x1740 + 2300x900)	12
D1 (2100x980)	12
D2 (2100x900)	48

Analogiškai sudaryti ir kiti variantai, keičiant tik blokelių tipą.

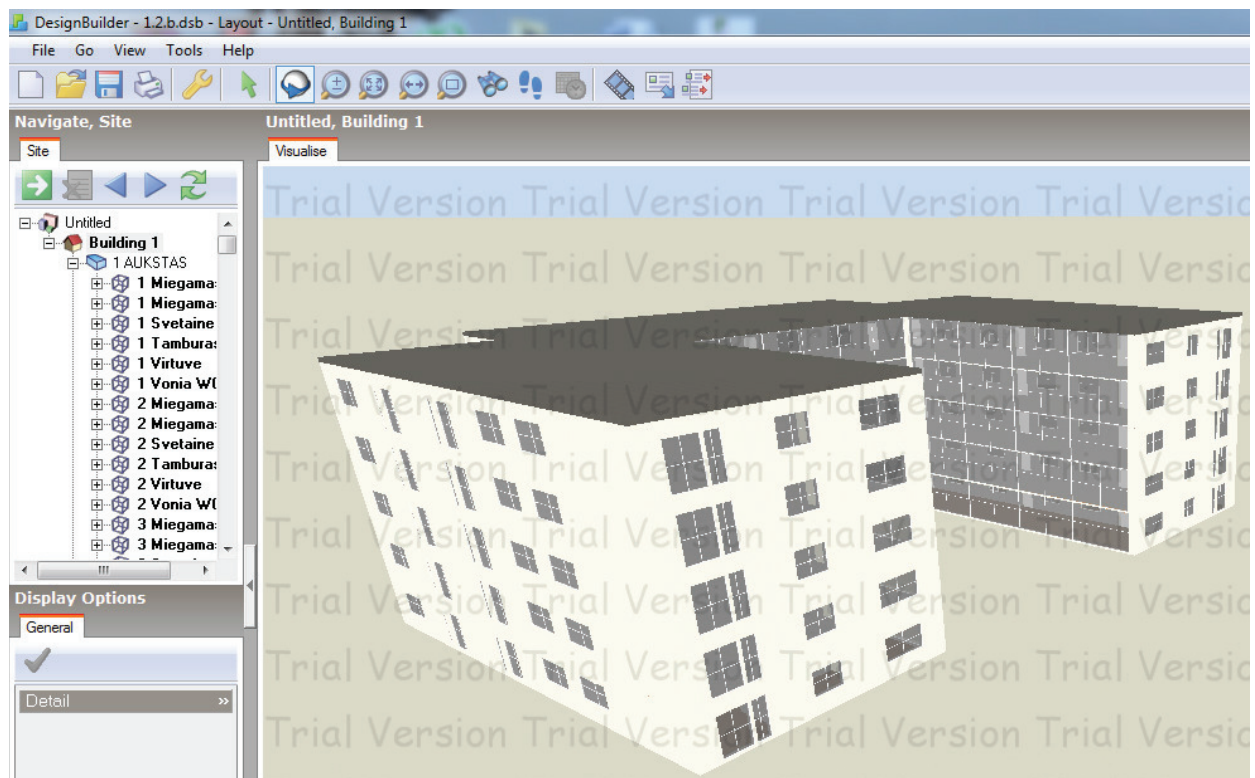
3.5. Daugiabučių variantų modeliavimas Design Builder programa

Modeliuojant daugiabučius su Design Builder programa buvo atliekama tokia veiksmų seka:

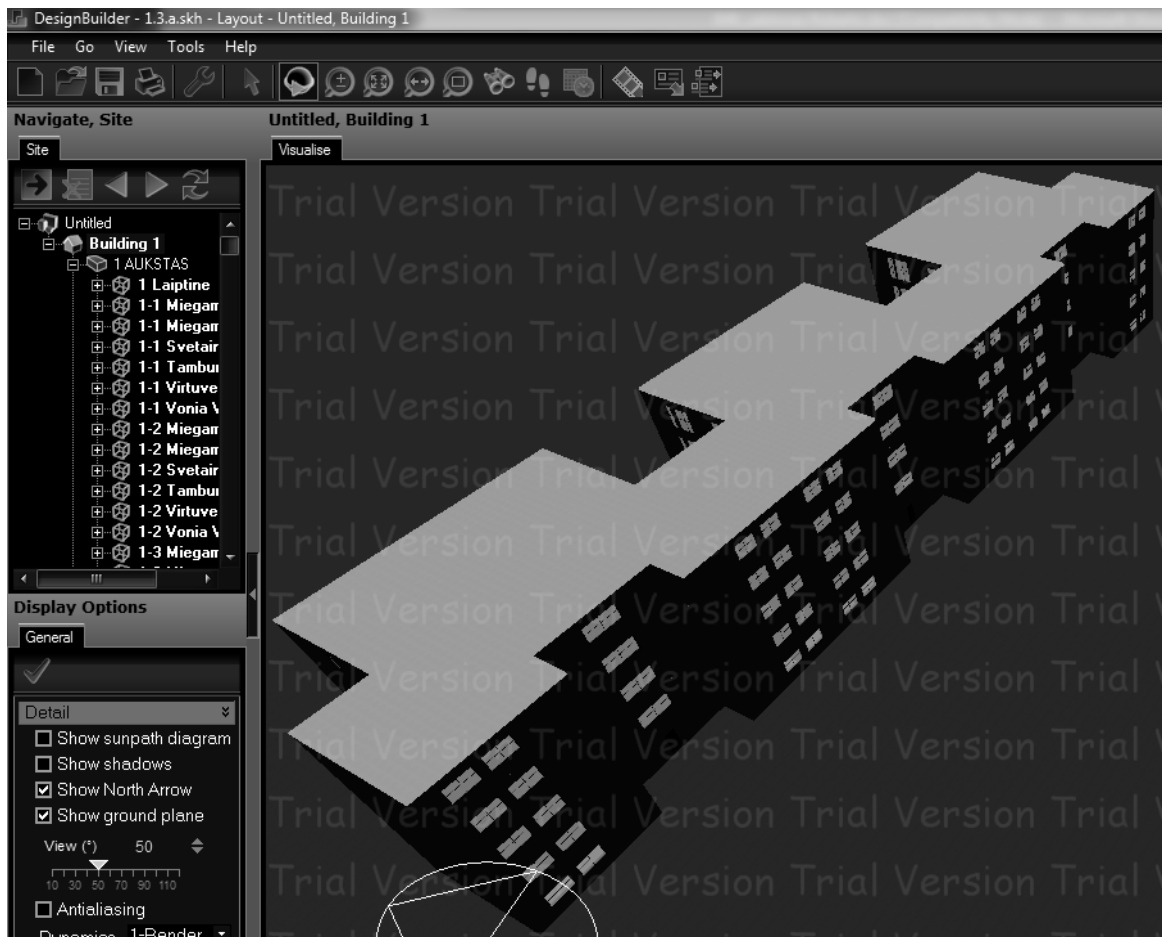
- ✚ Įsikeliami nubraižyti planai Autocad programa;
- ✚ Iškeliamos pastato sienos (pagal pasirinktą patalpų aukštį 3,0 m braižomas pastato kontūras);
- ✚ Sudalijamas pastatas į atskiras zonas (žiūr. 33 pav.) (nubraižytuose pastatų kontūruose braižomos pertvaros, kurios padalija pastatą į butus ir kambarius);
- ✚ Kiekvienai patalpai suteikiamas pavadinimas (pagal patalpų išplanavimus suteikiami pavadinimai);
- ✚ Programoje sukuriami jau pasirinkti atitinkami atitvarų deriniai ir priskiriami kiekvienai pastato atitvarai (kuriamos naujos medžiagos pagal atitinkamus parametrus);
- ✚ Suvedami pastato šildymo bei vėdinimo parametrai;
- ✚ Generuojami rezultatai ir 3D pastatų vizualizacijos (žiūr. 34, 35, 36 pav.).



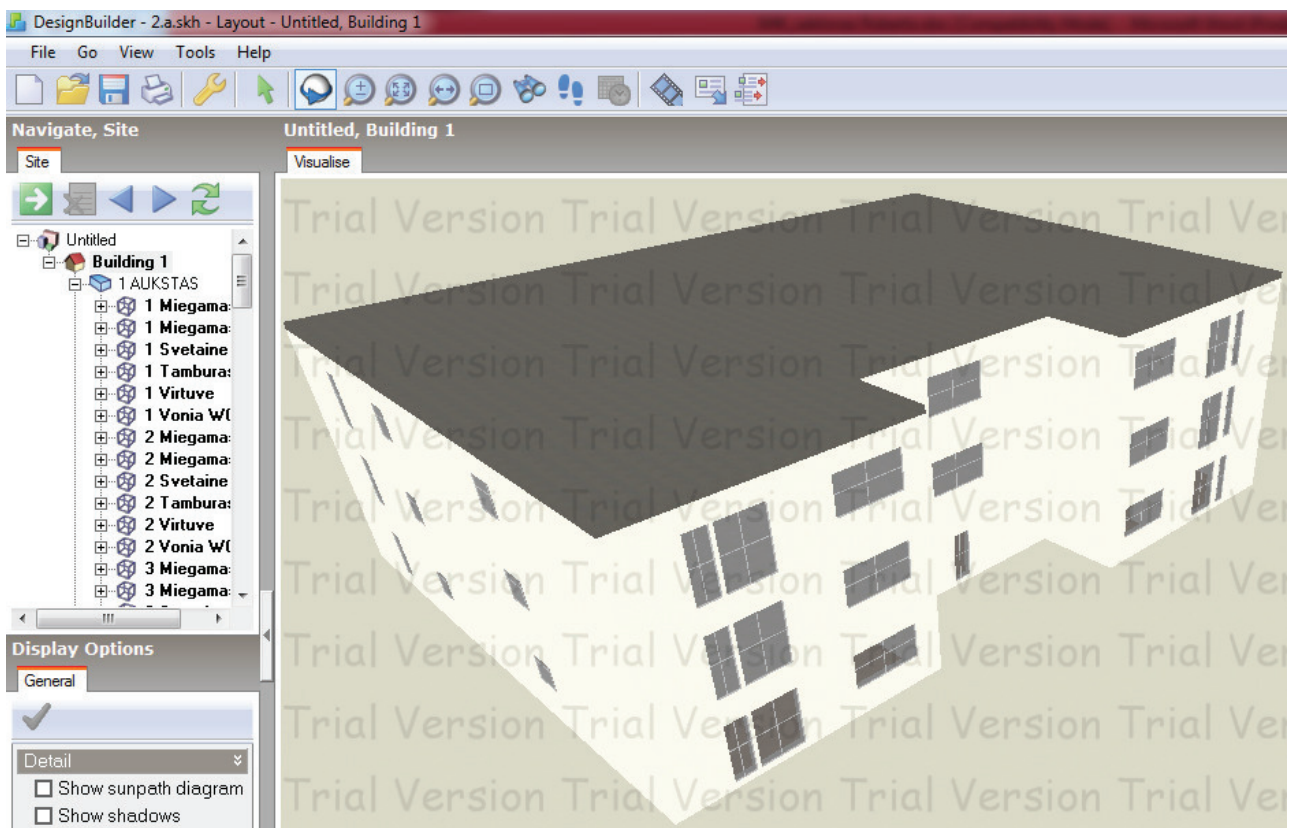
33 pav. Pastato padalijimas į zonas



34 pav. 1.2b daugiabučio variantas



35 pav. 1.3a daugiabučio variantas



36 pav. 2.a daugiabučio variantas

Paskutinio etapo daugiataksiui palyginimui duomenys buvo kaupiami visi tyrimo metu. Rodikliai (žiūr. 19 lentelė) variantų palyginimui buvo atrinkti atsižvelgiant į ekonominius, aplinkosauginius, architektūrinius, energetinius aspektus.

19 lentelė. Pastatų lyginimo kriterijai

Eil. nr.	Rodiklio pavadinimas	Mato vnt.	Min /Max
1.	Investicijų kaina	Lt/m ²	Min
2.	Pastato plotas	m ²	Max
3.	Butų skaičius	vnt.	Max
4.	Kompaktiškumo koeficientas		Min
5.	Šilumos poreikis pastatui per metus, Q _m	kWh/m ²	Min
6.	Energijos poreikis vėsinimui per metus	kWh/m ²	Min
7.	Elektros poreikis per metus	kWh/m ²	Min
8.	Šiltnamio efektą sukeliančios dujos (GWP) arba Empodied carbon	kg CO ₂ eq/kg	Min
9.	Ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančių dujų emisija (CFC – Chlorofluorocarbon)	kg CFC-11 eq	Min

Šiltnamų išorinių atitvarų kaina (Lt/m²) skaičiuota su programa SISTELA. Pastato bendras plotas ir butų skaičius nustatyti iš AutoCAD programos brėžinių, kompaktiškumo koeficientas buvo skaičiuojamas vertinant pastato fasado ir šildomų grindų plotų santykį. Pirminės energijos poreikis, šilumos poreikis pastatui per mėnesį (Q_m), Energijos poreikis vėsinimui ir Elektros poreikis apskaičiuotas Design Builder programa. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos rodiklis - GWP (kg CO₂ ekv/vnt.) bei ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančių dujų emisijos rodiklis (kg CFC-11 eq) – ekologiniai rodikliai, gauti iš Sima Pro programos. Palyginimui reikalingi duomenys pateikiami 20 lentelėje. Palyginimas atliekamas dviem metodais, SAW ir ARAS.

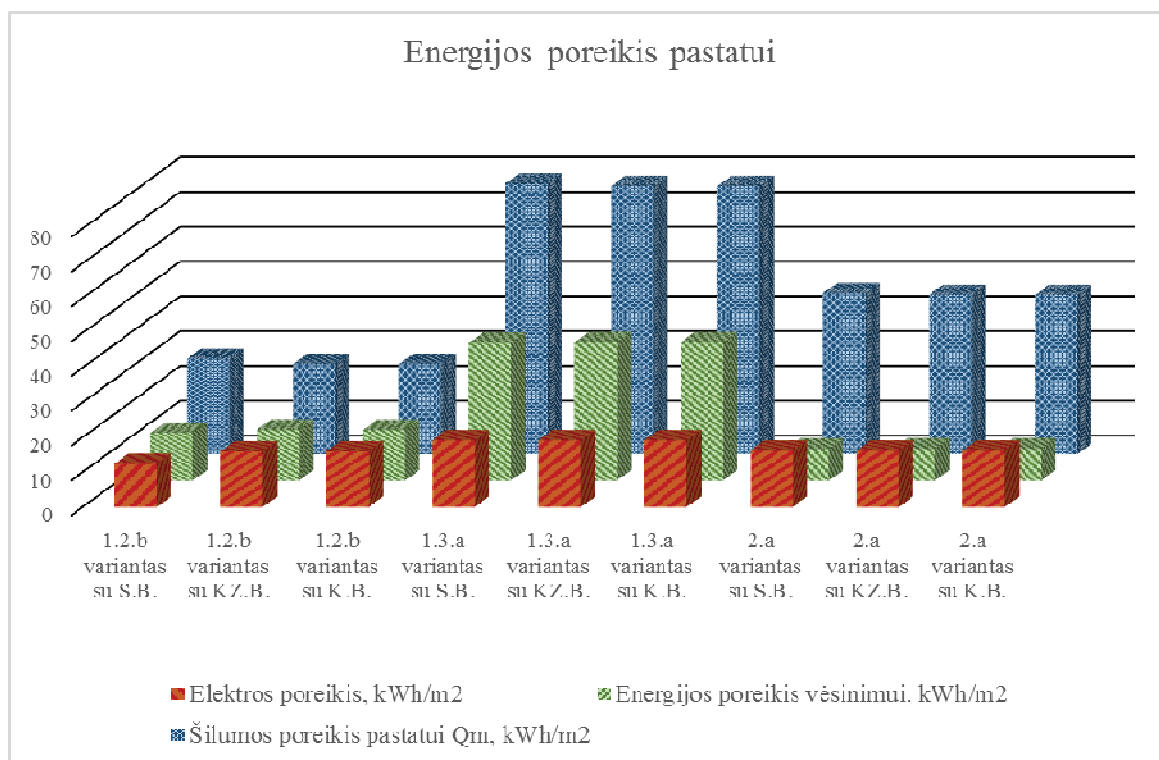
20 lentelė. Projekto išeities duomenys.

Eil. nr.	1.2.b variantas su S.B.	1.2.b varianta s su KZ.B.	1.2.b varianta s su K.B.	1.3.a varianta s su S.B.	1.3.a varianta s su KZ.B.	1.3.a varianta s su K.B.	2.a varianta s su S.B.	2.a varianta s su KZ.B.	2.a varianta s su K.B.
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9

1.	206,00	254,00	262,00	206,00	254,00	262,00	206,00	254,00	262,00
2.	5462,98	5462,98	5462,98	6023,72	6023,72	6023,72	1639,63	1639,63	1639,63
3.	45,00	45,00	45,00	60,00	60,00	60,00	15,00	15,00	15,00
4.	0,89	0,89	0,89	0,81	0,81	0,81	0,76	0,76	0,76
5.	27,32	25,85	25,85	77,6	76,96	76,96	46,21	45,72	45,72
6.	13,68	14,53	14,51	39,51	39,72	39,71	9,06	9,12	9,12
7.	12,43	15,92	15,92	19,18	19,18	19,18	16,18	16,18	16,18
8.	1,26	3,44	3,44	1,26	3,44	3,44	1,26	3,44	3,44
9.	$7,50 \times 10^{-8}$	$2,98 \times 10^{-7}$	$2,98 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-8}$	$2,98 \times 10^{-7}$	$2,98 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-8}$	$2,98 \times 10^{-7}$	$2,98 \times 10^{-7}$

Pastabos: S.B. Silikatiniai blokeliai, KZ.B. keramzitiniai blokeliai, K.B. keraminiai blokeliai.

Pagal pradinę duomenų matricą buvo sudaryti pastatų energijos poreikio grafikai, kurie parodo, kad mažiausiai energijos reikalaujantis pastatas tai 1.2b variantas. Šiuos rezultatus įtakoja pastato forma, orientacija ir krentantys šėšėliai.



37 pav. Pastatui reikalingos energijos poreikis per metus

Atliekant skaičiavimus buvo priimta, kad kriterijų reikšmingumai yra visi vienodi, visi po 0,1.

Atlikus skaičiavimus gautos rezultatų matricos pateikiamos 21 ir 22 lentelėse.

21 lentelė. ARAS metodu gauti paskutinio palyginimo rezultatai

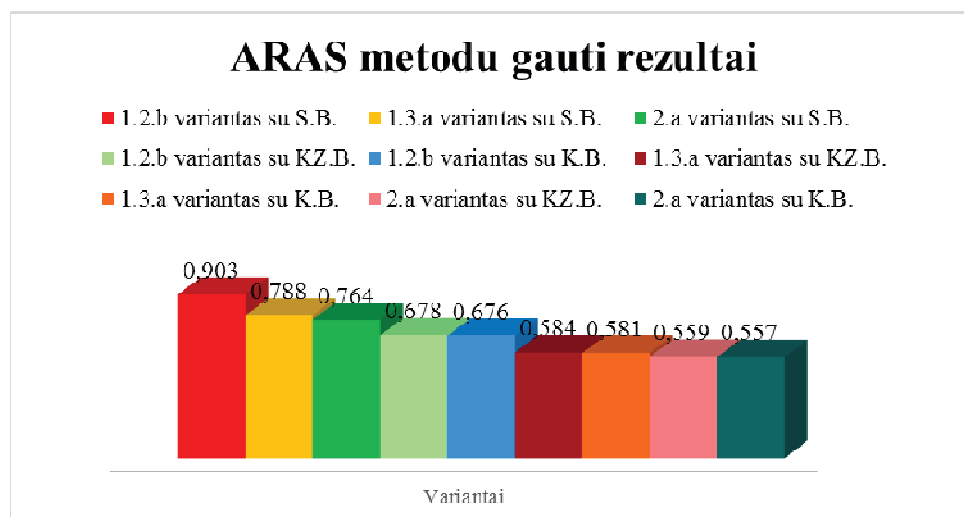
	Max/ min	A (a_1)	B (a_2)	C (a_3)	D (a_4)	E (a_5)	F (a_6)	G (a_7)	H (a_8)	I (a_9)	Opt. (a_o)
x ₁	Min	0,0126	0,0102	0,0099	0,0126	0,0102	0,0099	0,0126	0,0102	0,0099	0,0126
x ₂	max	0,0134	0,0134	0,0134	0,0147	0,0147	0,0147	0,0040	0,0040	0,0040	0,0147
x ₃	max	0,0119	0,0119	0,0119	0,0159	0,0159	0,0159	0,0040	0,0040	0,0040	0,0159
x ₄	Min	0,0101	0,0101	0,0101	0,0111	0,0111	0,0111	0,0118	0,0118	0,0118	0,0118
x ₅	Min	0,0158	0,0167	0,0167	0,0056	0,0056	0,0056	0,0094	0,0095	0,0095	0,0167
x ₆	Min	0,0112	0,0105	0,0105	0,0039	0,0039	0,0039	0,0169	0,0168	0,0168	0,0169
x ₇	Min	0,0142	0,0111	0,0111	0,0092	0,0092	0,0092	0,0109	0,0109	0,0109	0,0142
x ₈	Min	0,0179	0,0066	0,0066	0,0179	0,0066	0,0066	0,0179	0,0066	0,0066	0,0179
x ₉	Min	0,0202	0,0051	0,0051	0,0202	0,0051	0,0051	0,0202	0,0051	0,0051	0,0202
R _j		0,127	0,096	0,095	0,111	0,082	0,082	0,108	0,079	0,079	0,141
K		0,903	0,678	0,676	0,788	0,584	0,581	0,764	0,559	0,557	1,000
		1.2.b variant as su S.B.	1.2.b variant as su KZ.B.	1.2.b variant as su K.B.	1.3.a variant as su S.B.	1.3.a variant as su KZ.B.	1.3.a variant as su K.B.	2.a variant as su S.B.	2.a variant as su KZ.B.	2.a variant as su K.B.	

22 lentelė. SAW metodu gauti paskutinio palyginimo rezultatai

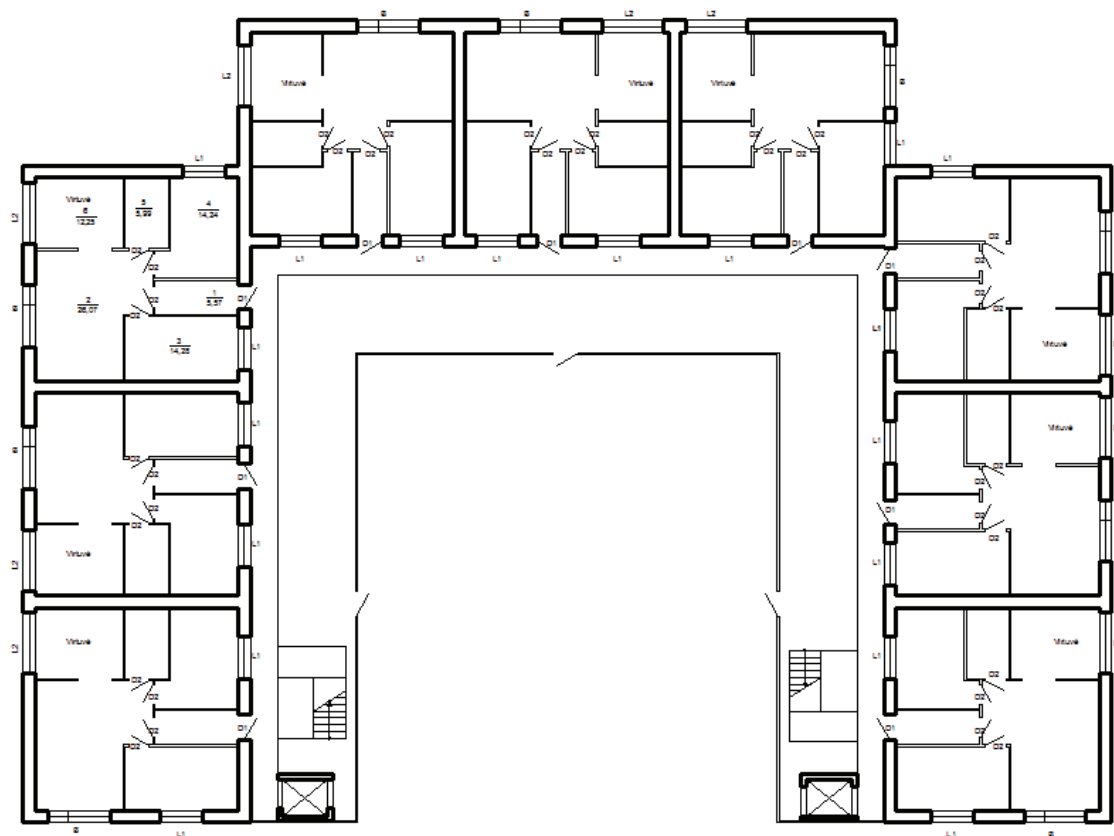
Duomenys		Kriterijai									Σ
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	
Alternatyvos	A1	0,111	0,101	0,083	0,095	0,105	0,074	0,111	0,111	0,111	0,902
	A2	0,090	0,101	0,083	0,095	0,111	0,069	0,087	0,041	0,028	0,705
	A3	0,087	0,101	0,083	0,095	0,111	0,069	0,087	0,041	0,028	0,702
	A4	0,111	0,111	0,111	0,104	0,037	0,025	0,072	0,111	0,111	0,794
	A5	0,090	0,111	0,111	0,104	0,037	0,025	0,072	0,041	0,028	0,620
	A6	0,087	0,111	0,111	0,104	0,037	0,025	0,072	0,041	0,028	0,617
	A7	0,111	0,030	0,028	0,111	0,062	0,111	0,085	0,111	0,111	0,761
	A8	0,090	0,030	0,028	0,111	0,063	0,110	0,085	0,041	0,028	0,586
	A9	0,087	0,030	0,028	0,111	0,067	0,110	0,085	0,041	0,028	0,588

Iš 21 lentelėje pateiktų variantų palyginimo ARAS metodu (Zavadskas ir Turskis 2010) rezultatų matome, kad gauta tokia prioritetų eilutė: $A_1 > A_4 > A_7 > A_2 > A_3 > A_5 > A_6 > A_8 > A_9$, pagal

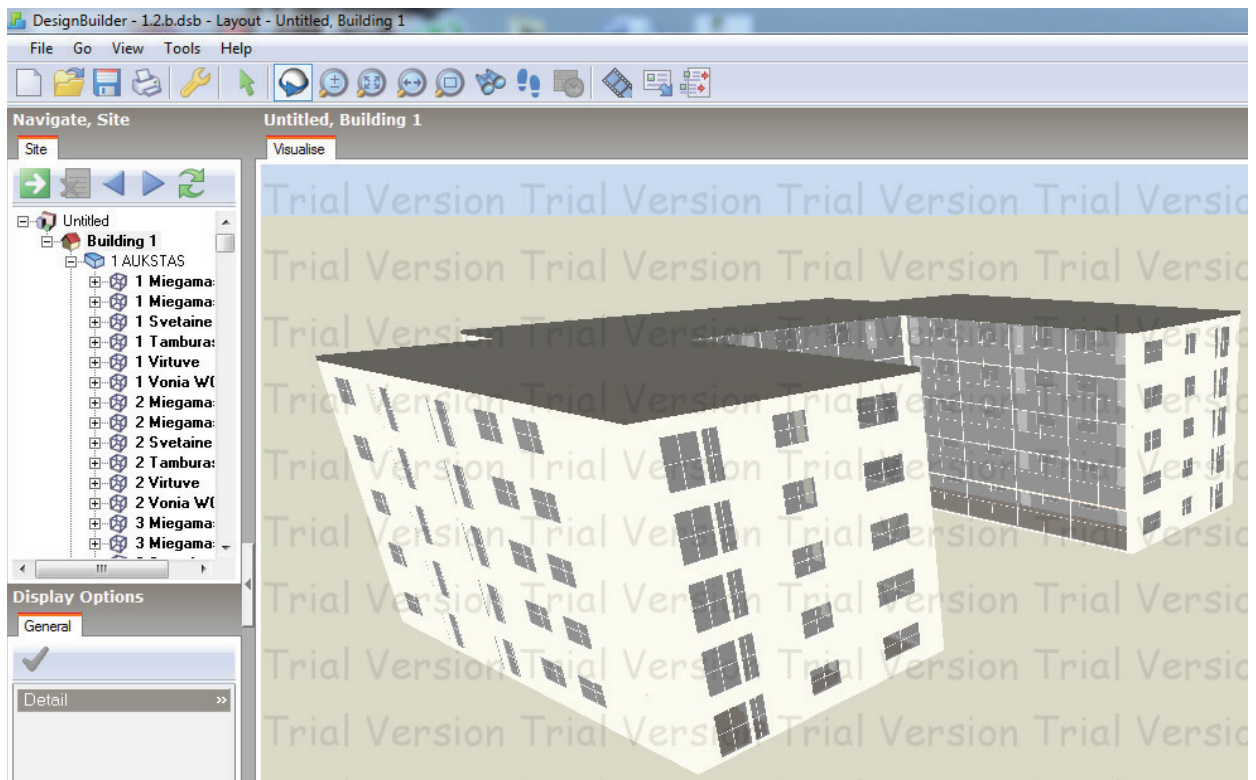
ją sudarytas rezultatų atvaizdavimo grafikas (žiūr. 38 pav.), o iš SAW metodo palyginimo gautų rezultatų prioritetų eilutė $A_1 > A_4 > A_7 > A_2 > A_3 > A_5 > A_6 > A_9 > A_8$. Racionalus variantas vertinant trijų aukštų daugiabučius yra A_7 - 2.a numerių pažymėtas 3-jų aukštų stačiakampės formos daugiabutis namas, kurio sienos iš silikatinių blokelių (energijos poreikio grafikai pateikiami A-C prieduose). Racionalus variantas vertinant penkių aukštų daugiabučius abiem palyginimo variantais yra A_1 – 1.2b numeriu pažymėtas 5-jų aukštų daugiabutis namas (žiūr. 39, 40 pav.), kurio sienos iš silikatinių blokelių.



38 pav. ARAS metodu gautų rezultatų atvaizdavimas



39 pav. Geriausio varianto 1.2b planas



40 pav. Geriausio varianto 1.2b vizualizacija

IŠVADOS

1. Modeliuojant energiškaai efektyvų pastatą energijos suvartojimai ir aplinkosauginiai aspektai turėjo didelę įtaką alternatyvų prioritetų eilutei. Todėl siekiant būsto sektoriaus tvarios plėtros, būsto statybos projektinių sprendinių ir atnaujinamo alternatyvių priemonių efektyvumas turėtų būti vertinamas ne tik ekonominiais, bet ir energetiniais ir aplinkosauginiais kriterijais.

2. Design Builder programine įranga modeliuojant energiškaai efektyvų pastatą palyginti keli daugiabučių variantai. 12 konstrukcinių atitvarų variantų palyginimui taikyti SAW, ARAS, TOPSIS ir COPRAS daugiakriteriai metodai.

3. Modelių palyginimui iš dešimt pastatų buvo pasirinkti trys pastatai su trimis skirtingais atitvarų konstrukciniais variantais, kurių palyginimui taikyti ARAS ir SAW metodai.

4. Variantų palyginimui parinkti pastatą kompleksiškai apibūdinantys ekonominiai, architektūriniai, energiniai ir aplinkosauginiai kriterijai, kurių reikšmės nustatytos taikant SISTELA, SimaPro ir Design Builder programinius paketus.

5. Nustatyta, kad pagal parinktą kriterijų sistemą racionalus variantas 5-jų aukštų stačiakampės formos daugiabutis namas, kurio sienos iš silikatinių blokelių. Šio pastato šilumos poreikis pastatui per metus $27,32 \text{ kWh/m}^2$, energijos poreikis vėsinimui $13,68 \text{ kWh/m}^2$, elektros poreikis $12,43 \text{ kWh/m}^2$.

6. Pagal parinktą kriterijų sistemą racionalus varianto 3-jų aukštų daugiabučio namo šilumos poreikis pastatui per metus $46,21 \text{ kWh/m}^2$, energijos poreikis vėsinimui $9,06 \text{ kWh/m}^2$, elektros poreikis $16,18 \text{ kWh/m}^2$.

7. Tyrimo rezultatai parodė, kad racionaliems išrinktiems pastatų variantams būdingas kompaktiškumas, todėl projektuojant energiškaai efektyvų pastatą labai svarbu įvertinti pastato architektūrinius sprendimus ir pastato orientaciją pasaulio šalių atžvilgiu.

LITERATŪRA

- Agarwal, S.; Gupta, R. K. 2011. 32 – Plastics in Buildings and Construction, *Applied Plastics Engineering Handbook* 1: 553-554.
- Ayhana, D.; Saglamb, S. 2012. A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 1040– 1049.
- Baetens, R.; Jelle, B. P.; Gustavsen, A. 2010. Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94(2): 87–105.
- Ceylan, I. 2012. Energy and exergy analyses of a temperature controlled solar water heater, *Energy and Buildings* 47: 630–635.
- Dylewski, R.; Adamczyk, J. 2012. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments, *Energy and Buildings* 54: 88–95.
- Gökc, H. U.; Gökc, K. U. 2012. Holistic system architecture for energy efficient building operation, *Sustainable Cities and Society* xx: 1–8.
- Geotermika. Kas tai? [interaktyvus]. 2010. *Pinigų karta* [žiūrėta 2013-04-26]. Prieiga per internetą: <http://www.pinigukarta.lt/patarimai-3/mano-finansai/sildymas-mano-finansai/geotermika-kas-tai>.
- Gratia, E.; De Herde, A. 2003. *Design of low energy office buildings*, *Energy and Buildings* 35(5): 473-491.
- Häkkinen, T. 2012. Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls, *Construction and Building Materials*, 37: 783–790.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. S. Multiple Attribute Decision Making // Methods and Applications. *Springer-Verlag*. Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 259 p.
- Jager-Waldau, A.; Ossenbrink, H. 2010. Progress of electricity from biomass, wind and photovoltaics in the European Union, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8(2): 157–182.
- Kecebas, A. 2012. Energetic, exergetic, economic and environmental evaluations of geothermal district heating systems: An application, *Energy Conversion and Management* 65: 546–556.
- MacCrimmon, K. R. 1968. Decision making among multiple attribute alternatives: A survey and consolidated approach, RAND Memorandum, RM-4823-ARPA. 70 p.

Nanotechnologijų pritaikymas [interaktyvus]. 2013. *Mano Sveikata* [žiūrėta 2013-05-27]. Prieiga per internetą: <http://www.11-05-21.manosveikata.lt/temos/apsauga-apsaugos-sistemas/nanotechnologijos-langu-stikla-paverte-judesio-davikliu>.

NorthPass 2010. *Energy-demand levels and corresponding residential concept houses and the specific challenges of very low-energy houses in colder climates*, 51 p.

NorthPass 2011. *Important design aspects of a very low-energy building*, 43 p.

Oikos [interaktyvus]: *Green Building Source* [žiūrėta 2014-05-25]. Prieiga per internetą: <http://oikos.com/esb/36/bldgform.html>.

Quesada, G.; Rousse, D.; Dutil, Y.; Badache, M.; Hallé, S. 2012. A comprehensive review of solar facades. Opaque solar facades, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(5): 3229– 3236.

Rodriguez-Ubinas, E.; Ruiz-Valero, L.; Vega, S.; Neila, J. 2012. Applications of Phase Change Material in highly energy-efficient houses, *Energy and Buildings* 50: 49-62.

Prasauskas, T.; Martuzevicius, D.; Krugly, E.; Kliucininkas, L.; Kireitseau, M.; Zerrath, A. 2011. Comparative characterization of particle emissions from asbestos and non-asbestos cement roof slates, *Building and Environment*, 46(11): 2295–2302.

Saidur, R.; Rahim, N.A.; Islam, M.R.; Solangi, K.H. 2011. Environmental impact of wind energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(5): 2423–2430.

Sailor, D.J. 2010. A green roof model for building energy simulation programs, *Energy and Buildings* 40 (8): 1466–1478.

Savaime nusivalantys stiklai [interaktyvus]. 2013. *Mano namukas* [žiūrėta 2013-06-02]. Prieiga per internetą: http://www.manonamukas.lt/plastikiniai_langai/savaime_nusivalantis_stiklas.html.

Self, S. J.; Reddy, B. V.; Rosen, M. A. 2012. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options, *Applied Energy* xx: 1–8.

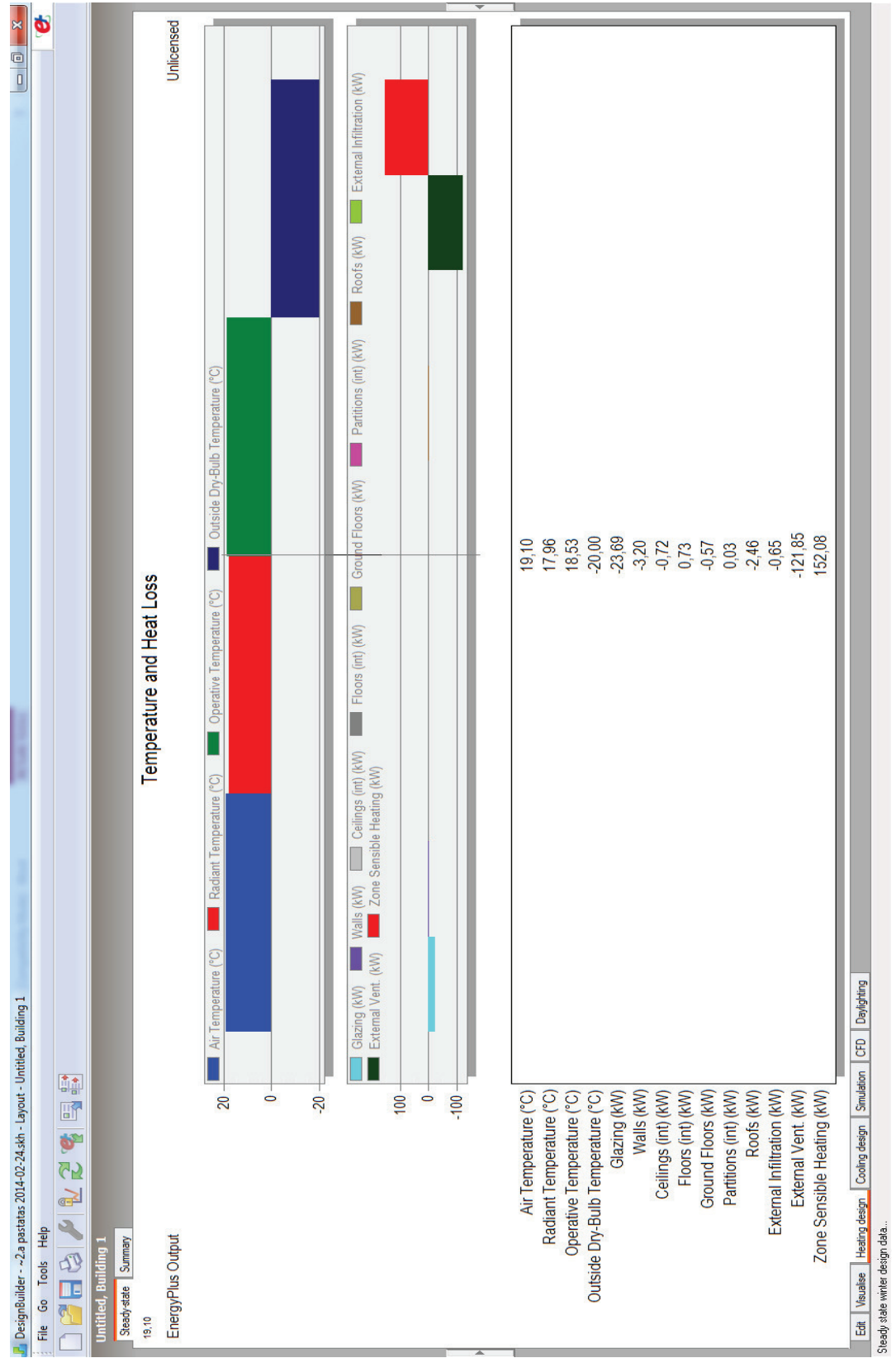
Straube, J. 2012 [interaktyvus]. *Insight the Function of Form: Building Shape and Energy*, 4 p. [žiūrėta 2014-05-25]. Prieiga per internetą: http://www.buildingscience.com/documents/insights/bsi-061-function-form-building-shape-and-energy/files/BSI-061_Building_Form_and%20Energy.pdf.

Tylock, S. M.; Seager, T. P.; Snell, J.; Bennett, E. R.; Sweet, D. 2012. Energy management under policy and technology uncertainty, *Energy Policy* 47: 156–163.

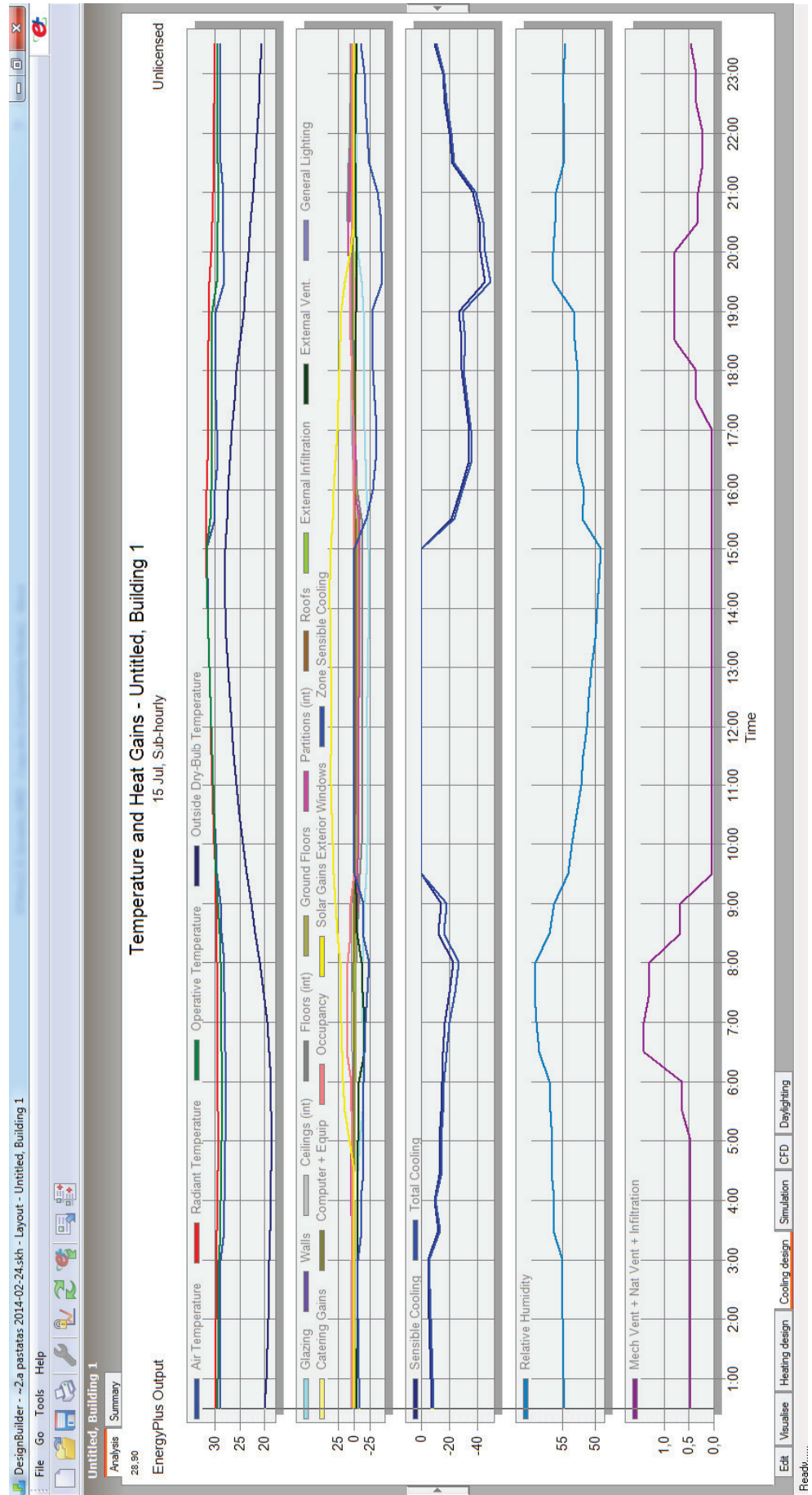
- Voss, K. 2000. Solar energy in building renovation — results and experience of international demonstration buildings, *Energy and Buildings* 32(3): 291–302.
- Wen-jie, S.; Hong-yuan, F.; Gui-yao, W. 2012. Study on a Kind of Eco-concrete Retaining Wall's Block with Water Purification Function, *Procedia Engineering* 28: 182–189.
- Xinga, Y.; Hewittb, N.; Griffiths, P. 2011. Zero carbon buildings refurbishment—A Hierarchical pathway, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(6): 3229– 3236.
- Zhai, X.Q.; Wang, R.Z.; Dai, Y.J.; Wu, J.Y.; Xu, Y.X.; Ma, Q. 2007. Solar integrated energy system for a green building, *Energy and Buildings* 39(8): 985–993.
- Zavadskas, Edmundas Kazimieras; Turskis, Zenonas. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria de-cision-making. *Technological and economic development of economy: Baltic journal on sustainability*. Vilnius : Technika. ISSN 1392-8619. Vol 16, no 2 (2010), p. 159-172.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. Multiple criteria evalu-ation of buildings. Vilnius: Technika.
- „Innova“ projektas: nauja, pažangi daugiabučių namų renovacija, leidžianti gerokai padidinti pastatų energinį efektyvumą [interaktyvus]. 2013. Paroc [žiūrėta 2013-05-17]. Prieiga per internetą: <http://www.paroc.lt/Campaigns/Innova-projektas>.

PRIEDAI

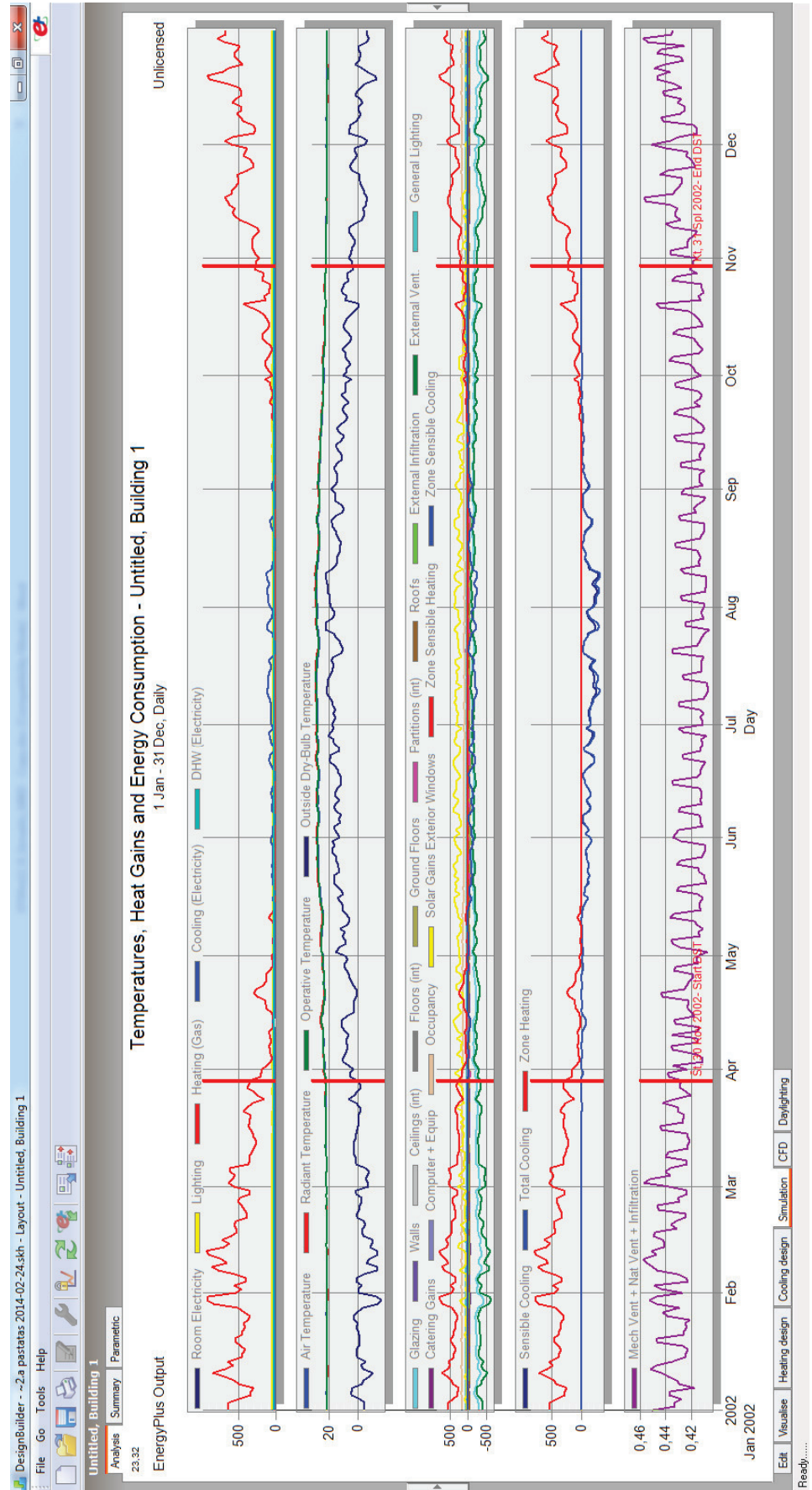
A7 alternatyvos šilumos nuostolių parodymai (Design Builder programos langas)



A7 alternatyvos energijos poreikis vėsinimui (Design Builder programos langas)



A7 alternatyvos energijos poreikis pastatui (Design Builder programos langas)





ENERGIŠKAI EFEKTYVAUS PASTATO MODELIAVIMAS

Robertas Šimaitis¹, Tatjana Vilutienė²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹robertas.simaitis@stud.vgtu.lt; ²tatjana.vilutiene@vgtu.lt

Santrauka. Siekiant tvarių sprendinių, būsto atnaujinamo alternatyvių priemonių efektyvumas straipsnyje vertinamas ekonominiais, energetiniais ir aplinkosauginiais kriterijais. Design Builder programinės įrangos pagalba modeliuojant energiškai efektyvų pastatą palyginti keli daugiabučių variantai. Variantų palyginimui parinkti pastatų kompleksiška apibūdinantys ekonominiai, architektūriniai, energiniai ir aplinkosauginiai kriterijai, kurių reikšmės nustatytos taikant SISTELA, SimaPro ir DesignBuilder programinius paketus. Taikant daugiakriterės analizės metodus nustatyta alternatyvų prioritetų eilutė ir racionalus variantas.

Reikšminiai žodžiai: Energijos taupymas, energetiškai efektyvus būstas, modeliavimas, Design Builder.

1. Įvadas

Didėjant šildymo kaštams žmonės vis didesnę dėmesį pradėjo skirti šilumos taupymui. Pradėjo keistis požiūris į statinius, jų funkcionalumą ir priežiūrą. Vis didesnis dėmesys skiriamas statiniui ne nuo jo pastatymo, o nuo naujo statinio idėjos sukūrimo. Deja, ne kiekvienas gali būti kūrėjais naujo statinio, nes Lietuvoje daug statinių pastatytų neatsižvelgiant į reikalavimus energijos taupymui. Tokie statiniai nėra ilgaamžiai, juos reikia prižiūrėti ir pritaikyti prie naujų reikalavimų. Galimi du pasirinkimo variantai: renovuoti arba nugriauti. Nusprendus renovuoti negalima iškelti tik šiandieninius reikalavimus atitinkančius tikslus, reikia žiūrėti į ateities perspektyvas, atsiperkamumą. Tad svarbu kreipti didelį dėmesį į atsinaujinančius energijos šaltinius, naujas medžiagas ir technologijas.

Energiškai efektyvūs namai skirstomi į keturias kategorijas: mažai energijos naudojančios, pasyvieji, nulinės energijos ir energiją gaminantys pastatai (STR 2.01.09:2012). Energijos suvartojimas pastate priklauso ne tik nuo izoliacijos, bet ir nuo keleto kitų dalykų: pastato bendrojo langų ploto, į pastatą patenkančios saulės energijos kiekio, vėdinimo sistemos tipo, pastato orientacijos, pastato naudotojo elgsenos (NorthPass, 2010, 2011, Motuzienė ir Vilutienė, 2013). Energiškai efektyvių pastatų konstrukcijos yra truputį storesnės už įprastinių pastatų konstrukcijas. Pastatas būna kompaktiškesnis nei tradicinis.

Energiškai efektyvaus pastato statybos darbų kainos padidėjimas sudaro 0–5 %, lyginant su standartiniu pasta-

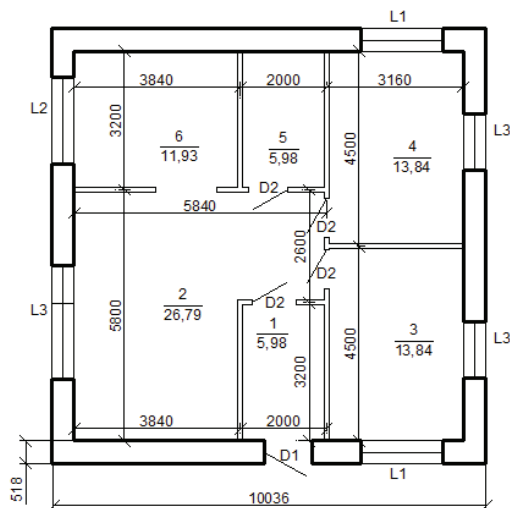
tu (pagal Suomijos techninių tyrimų centro VTT duomenis) ir nekilnojamojo turto rinkoje tokio namo kaina yra apie 10–30 % didesnė už standartinio namo kainą.

Optimalų renovacijos modelį pasirinkti nėra lengva, dažnai sprendimai būna subjektyvūs, todėl tam pasitelkiama ekspertų nuomonė. Į sprendimų priėmimo procesus įtraukti šie dalyviai: suinteresuotosios šalys, ekspertai ir sprendimų priėmimo analitikai. Suinteresuotosios šalys nustato bendrus tikslus ir vertinimo kriterijus, o ekspertai teikia technologines alternatyvas ir tikimybiinius vertinimus, palyginant su suinteresuotųjų šalių nustatytais kriterijais, suformuotomis alternatyvomis (Tylock *et. al.* 2012). Paprastai sprendimai priimami atlikus keletą vertinimų skirtinguose etapuose ir įvairias pjąvijas. Tai leidžia palyginti įvairių sprendimų pasėkmes.

Šio darbo tikslas – sumodeliuoti energetiškai efektyvų pastatą ir taikant kiekybinio vertinimo metodus nustatyti racionalią energetiškai efektyvaus pastato alternatyvą, taip pat patikrinti hipotezę dėl architektūrinių sprendimų įtakos šilumos energijos suvartojimams pastate. Atliekant darbą buvo naudota įvairi programinė įranga. Pastatų planų sukūrimui buvo naudota AutoCAD programa, aplinkosauginiams rodikliams gauti buvo naudojama SimaPro, kainos buvo skaičiuojamos remiantis SISTELA, 3D modeliai su atitvarų medžiagų charakteristikomis buvo modeliuojami su DesignBuilder programa. Variantų palyginimui naudoti SAW (MacCrimmon 1968), COPRAS (Zavadskas, Kaklauskas 1996), TOPSIS (Hwang, Yoon 1981) ir ARAS metodas (Zavadskas ir Turskis 2010).

2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – daugiabutis gyvenamasis namas. Kaip pradinės alternatyvos buvo suprojektuoti devyni įvairių išplanavimų daugiabučiai pastatai. Daugiabučio projektavimas vyko laikantis vieno pagrindinio principo: sukurti pastatą iš vienodų vienbučio namo celių, keičiant tik vidinių pertvarų vietą, tačiau vidiniai buto matmenys buvo laikomi kaip konstanta, nekintantys 9 metrai į ilgį ir plotį (1 pav.).



1 pav. Vienbučio pastato celė.

Fig. 1. One flat cell.

Palyginimui buvo parinkti penkių ir trijų aukštų daugiabučiai pastatai. Penkių aukštų daugiabučių pastatų planai pateikti 2-4 paveiksluose. Trijų aukštų daugiabučių pastatų planai pateikti 5 paveiksle. Suformuota sprendimo schema, kuri nurodo veiksmų seką. Architektūrinių sprendinių vertinimui buvo paskaičiuotas pastato kompaktiškumo koeficientas (1 lentelė).

1 lentelė. Kompaktiškumo koeficiento reikšmės.

Table 1. Values of compactness ratios.

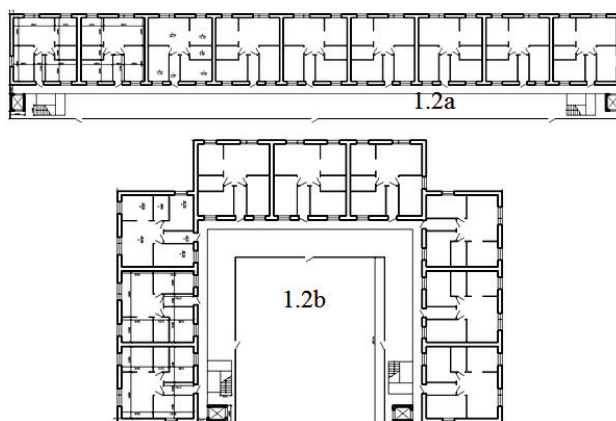
Variantas	Koeficiento reikšmė
1.1a	0,996
1.1b	0,85
1.2a	0,86
1.2b	0,89
1.3a	0,81
1.3b	0,95
1.3c	1,00
2.a	0,76
2.b	0,88
2.c	0,94

Kompaktiškumo koeficientas buvo skaičiuojamas vertinant pastato fasado ir šildomų grindų plotų santykį. Kuo mažesnė koeficiento vertė, tuo kompaktiškesnis laikomas pastatas (*Very Low-Energy House Concepts ...*, NorthPass, 2011).



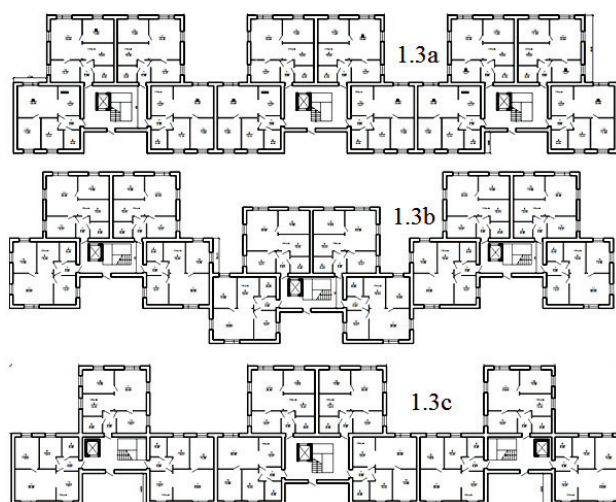
2 pav. 5-ių aukštų daugiabučių variantai 1.1a ir 1.1b.

Fig. 2. 1.1a and 1.1b options of 5 floor multidwellings.



3 pav. 5-ių aukštų daugiabučių variantai 1.2a ir 1.2b.

Fig. 3. 1.2a and 1.2b options of 5 floor multidwellings.



4 pav. 5-ių aukštų daugiabučių variantai 1.3a, 1.3b ir 1.3c.

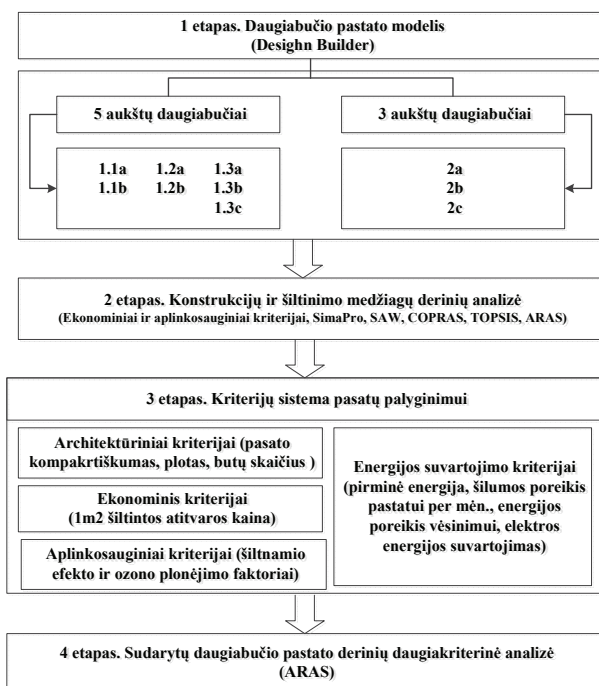
Fig. 4. 1.3a, 1.3b and 1.3c options of 5 floor multidwellings.



5 pav. 3-jų aukštų daugiabučių variantai 2.a, 2.b ir 2.c.

Fig. 5. 2.a, 2.b and 2.c options of 3 floor multidwelling.

Vienas iš kriterijų atrinkant daugiabučių variantus buvo išplanavimas. Taip pat buvo svarbu, kad būtų parinktas nors vienas trijų aukštų daugiabutis pastatas. Renkantis triaukštį pastatą buvo pasirinktas variantas su didžiausiu butų skaičiumi, t.y. 2.a variantas. Iš penkiaaukščių pastatų atrinkti pakankamai skirtingi variantai, vienas daugiabutis koridorinio planavimo, netradicinės formos, tai 1.2b variantas, kitas variantas buvo atrinktas atsižvelgiant į šalčio tiltelius, kad būtų kuo mažiau laužytų kampų, tai 1.3a variantas. Pastato energinio efektyvumo analizės etapai ir kriterijai pateikti 6 paveikslų schemoje.



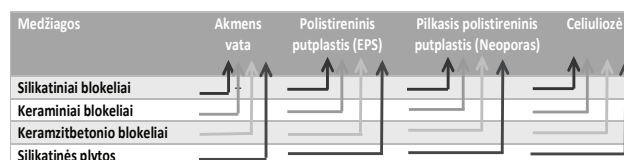
6 pav. Pastato energinio efektyvumo analizės etapai

Fig. 6. Building energy efficiency modelling stages

3. Variantų pasirinkimas, atitvarų derinių formavimas

Išanalizavus visus sukurtus variantus, gilesnei analizei buvo atrinkti projektai 1.2b, 1.3a, 2a. Šiems daugiabučiams buvo sukurti atitvarų šiltnamio variantai (7 pav.), kurie buvo lyginami remiantis keliais kriterijais:

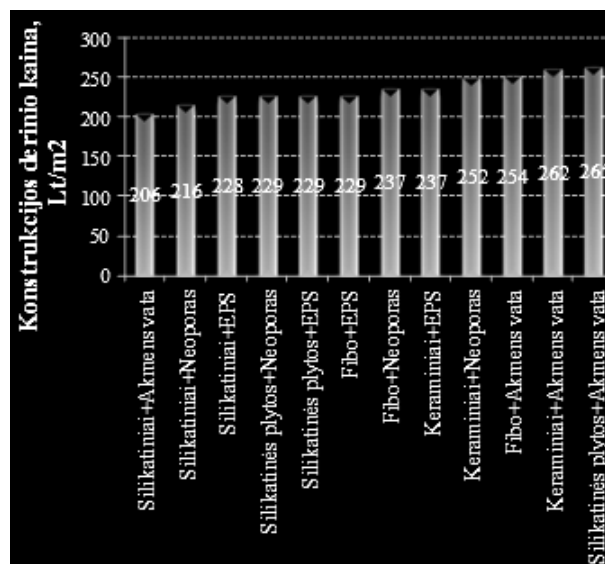
- Energinis – įkūnytosios (reikalingos pagaminti konstrukcinę medžiagą) energijos kiekiu;
- Ekologinis – įkūnytosios šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos rodikliu (kg CO₂ ekv/vnt.), įkūnytosios ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančių dujų emisijos rodikliu (kg CFC-11 eq));
- Ekonominis – nustatant alternatyvių konstrukcijų 1 m² rinkos kainą (pagal 2013 metų vyrausias rinkos kainas, 8 pav.).



7 pav. Pastato išorinių atitvarų variantai

Fig. 7. Building outside partitions options

Suformuoti variantai buvo palyginti taikant daugiakriterinę analizės metodą SAW (MacCrimmon 1968), COPRAS (Zavadskas, Kaklauskas 1996), TOPSIS (Hwang, Yoon 1981) ir ARAS (Zavadskas ir Turskis 2010).

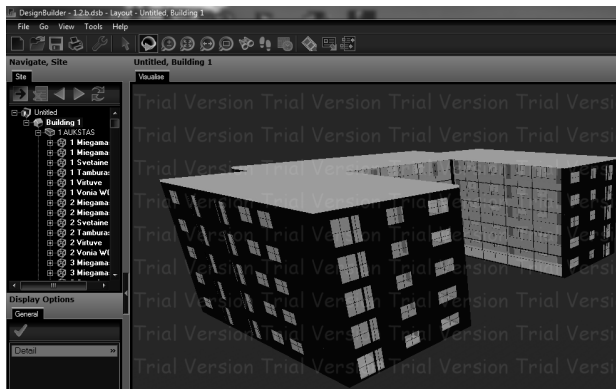


8 pav. Pastato išorinių atitvarų variantų kainos

Fig. 8. Building outside partitions options prices

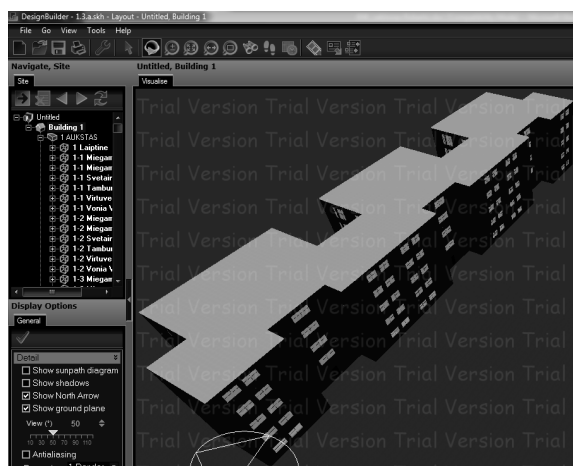
Sekančiame etape Desing Builder programoje buvo modeliuojami daugiabučiai (9–11 pav.). Sukurtos reikiamos konstrukcijos atitvaroms, kurių rodikliai atitinka A

energetinę naudingumo klasę. Pastatai padalinti į atskiras zonas (butus ir kambarius). Į programą buvo suvesti pastatų šildymo ir vėdinimo sistemų parametrai, parinkti taip, kad pastatas atitiktų A energetinę naudingumo klasę.



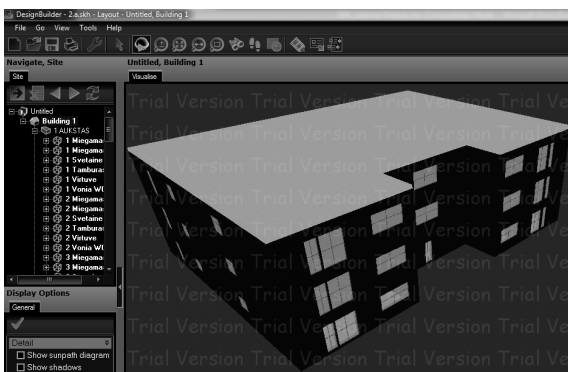
9 pav. Daugiabučio variantas 1.2b

Fig. 9. 1.2b option of multiflat dwelling



10 pav. Daugiabučio variantas 1.3a

Fig. 10. 1.3a option of multiflat dwelling



11 pav. Daugiabučio variantas 2.a

Fig. 11. 2.a option of multiflat dwelling

2 lentelė. Kriterijai daugiabučių pastatų palyginimui.

Table 2. Criteria for comparison of multiflat dwellings

Eil. nr.	Kriterijaus pavadinimas	Mato vnt.	Min /Max
R1	Šiltinamų išorinių atitvarų kaina	Lt/m ²	Min
R2	Pastato plotas	m ²	Max
R3	Butų skaičius	vnt.	Max
R4	Kompaktiškumo koeficientas		Min
R5	Pirminės energijos poreikis	MJ	Min
R6	Šilumos poreikis pastatui per mėnesį, Q _m	kWh	Min
R7	Energijos poreikis vėsinimui	kWh	Min
R8	Elektros poreikis	kWh	Min
R9	Šiltnamio efektą sukeliančios dujos (GWP) arba Empodied carbon	kg CO ₂ eq/kg	Min
R10	Ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančių dujų emisija (CFC – Chlorofluorocarbon)	kg CFC-11 eq	Min

Pastatų alternatyvų energinio efektyvumo vertinimui parinkti kriterijai pateikti 2 lentelėje. Šiltinamų išorinių atitvarų kaina (Lt/m²) skaičiuota su programa SISTELA. Pastato bendras plotas (R2) ir butų skaičius (R3) nustatyti iš AutoCAD programos brėžinių, kompaktiškumo koeficientas (R4) buvo skaičiuojamas vertinant pastato fasado ir šildomų grindų plotų santykį. Pirminės energijos poreikis (R5), šilumos poreikio pastatui per mėnesį rodiklis R6 (Q_m), energijos poreikis vėsinimui (R7) ir elektros poreikis (R8) paskaičiuoti Design Builder programos pagalba. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos rodiklis R9 (kg CO₂ ekv/vnt.) bei ozono sluoksnio plonėjimą sukeliančių dujų emisijos rodiklis R10 (kg CFC-11 eq)) – ekologiniai rodikliai, gauti iš Sima Pro programos. Paskutinio etapo daugiakriteriam vertinimui būtini išeities duomenys pateikti 3 lentelėje.

Iš 4 lentelėje pateiktų variantų palyginimo ARAS metodu (Zavadskas ir Turskis 2010) rezultatų matome, kad gauta tokia prioritetų eilutė: $A_7 > A_8 > A_9 > A_1 > A_4 > A_2 > A_3 > A_5 > A_6$. Racionalus variantas vertinant trijų aukštų daugiabučius yra A_7 – 2.a numerių pažymėtas 3-jų aukštų stačiakampės formos daugiabutis namas, kurio sienos iš silikatinių blokelių. Racionalus variantas vertinant penkių aukštų daugiabučius yra A_1 – 1.2b numerių pažymėtas 5-jų aukštų daugiabutis namas, kurio sienos iš silikatinių blokelių.

3 lentelė. Lyginamųjų daugiabučių projektų išeities duomenys.

Table 3. Initial data of multiflat dwellings.

Eil. nr.	1.2.b variantas su S.B.	1.2.b variantas su KZ.B.	1.2.b variantas su K.B.	1.3.a variantas su S.B.	1.3.a variantas su KZ.B.	1.3.a variantas su K.B.	2.a variantas su S.B.	2.a variantas su KZ.B.	2.a variantas su K.B.
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
R1	206,00	254,00	262,00	206,00	254,00	262,00	206,00	254,00	262,00
R2	5462,98	5462,98	5462,98	6023,72	6023,72	6023,72	1639,63	1639,63	1639,63
R3	45,00	45,00	45,00	60,00	60,00	60,00	15,00	15,00	15,00
R4	0,89	0,89	0,89	0,81	0,81	0,81	0,76	0,76	0,76
R5	11,06x10 ⁵	11,07x10 ⁵	11,06x10 ⁵	29,55x10 ⁵	29,46 x10 ⁵	29,46x10 ⁵	4,21x10 ⁵	4,19x10 ⁵	4,19x10 ⁵
R6	18656,19	17651,57	17629,61	25287,82	24808,25	24821,05	9470,27	9370,27	9372,30
R7	74726,10	79365,05	79252,09	238007,89	239249,64	239182,01	14862,03	14951,19	14953,27
R8	67907,72	86954,07	86954,07	115560,82	115560,82	115560,82	26525,49	26525,52	26525,52
R9	1,26	3,44	3,44	1,26	3,44	3,44	1,26	3,44	3,44
R10	7,50x10 ⁻⁸	2,98x10 ⁻⁷	2,98x10 ⁻⁷	7,50x10 ⁻⁸	2,98x10 ⁻⁷	2,98x10 ⁻⁷	7,50x10 ⁻⁸	2,98x10 ⁻⁷	2,98x10 ⁻⁷

Pastabos: S.B. - silikatiniai blokėliai, KZ.B. - keramzitoninio blokėliai, K.B. - keraminiai blokėliai.

4 lentelė. Skaičiavimų rezultatai (ARAS metodu).

Table 4. Calculation results (by applying ARAS method).

	Max/min	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	Opt. (a ₀)
x1	Min	0,011	0,009	0,009	0,011	0,009	0,009	0,011	0,009	0,009	0,011
x2	Max	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,004	0,004	0,004	0,013
x3	Max	0,011	0,011	0,011	0,014	0,014	0,014	0,004	0,004	0,004	0,014
x4	Min	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011
x5	Min	0,008	0,008	0,008	0,003	0,003	0,003	0,020	0,020	0,020	0,008
x6	Min	0,008	0,008	0,008	0,006	0,006	0,006	0,015	0,015	0,015	0,015
x7	Min	0,004	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,021	0,021	0,021	0,021
x8	Min	0,007	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,018	0,018	0,018	0,018
x9	Min	0,016	0,006	0,006	0,016	0,006	0,006	0,016	0,006	0,006	0,016
x10	Min	0,018	0,005	0,005	0,018	0,005	0,005	0,018	0,005	0,005	0,018
R _j		0,104	0,076	0,076	0,097	0,071	0,071	0,137	0,111	0,111	0,145
K		0,715	0,527	0,525	0,669	0,490	0,488	0,945	0,767	0,765	1,000
Rank		4	6	7	5	8	9	1	2	3	

4. Išvados

1. Design Builder programinės įrangos pagalba modeliuojant energetiškai efektyvų pastatą palyginti keli daugiabučių variantai. 12 konstrukcinių atitvarų variantų palyginimui taikyti SAW, TOPSIS ir COPRAS daugiakriteriniai metodai.

2. Modelių palyginimui iš devynių pastatų buvo pasirinkti trys pastatai su trimis skirtingais atitvarų konstrukciniais variantais kurių palyginimui taikytas ARAS metodas.

3. Variantų palyginimui parinkti pastatą kompleksiskai apibūdinančius ekonominiai, architektūriniai, energiniai ir aplinkosauginiai kriterijai, kurių reikšmės

nustatytos taikant SISTELA, SimaPro ir DesignBuilder programinius paketus.

4. Energijos suvartojimai ir aplinkosauginiai aspektai modeliuojant energetiškai efektyvų pastatą turėjo didžiausią įtaką galutiniam rezultatui.

5. Nustatyta, kad pagal parinktą kriterijų sistemą racionalus variantas 3-jų aukštų stačiakampės formos daugiabutis namas, kurio sienos iš silikatinių blokelių. Šio pastato šilumos poreikis pastatui per mėnesį 5,77 kWh/m², energijos poreikis vėsinimui 9,06 kWh/m², elektros poreikis 16,17 kWh/m².

6. Pagal parinktą kriterijų sistemą racionalus varianto 5-jų aukštų daugiabučio namo šilumos poreikis pastatui per mėnesį 3,42 kWh/m², energijos poreikis vėsinimui 13,68 kWh/m², elektros poreikis 12,43 kWh/m².

7. Siekiant tvarių sprendinių, būsto atnaujinamo alternatyvių priemonių efektyvumas turėtų būti vertinamas ne tik ekonominiais, bet ir energetiniais ir aplinkosauginiais kriterijais. Rezultatai taip pat parodė, kad racionaliems išrinktiems pastatų variantams būdingas kompaktiškumas, todėl projektuojant energetiškai efektyvų pastatą labai svarbu įvertinti ir pastato architektūrinius sprendimus.

Padėka

Šis tyrimas atliktas dalyvaujant projekte „Pastato ir atsinaujinančios energijos tvarumo modelis“, kurį finansuoja Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-03/2012). Tyrimas buvo įgyvendintas autoriams bendradarbiaujant su Vilniaus Gedimino technikos universiteto Pastatų energetikos katedros mokslininkais.

Literatūra

- Building Performance Simulation for Design and Operation. edited by Jan. L.M. Hensen and Roberto Lamberts. Spon Press, 2011. ISBN13: 978-0-415-47414-6(hbk), ISBN13:978-0-203-89161-2(ebk).
- EnergyPlus Energy Simulation Software, Homepage. [cited 2013], Available from: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. S. Multiple Attribute Decision Making // Methods and Applications. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 259 p.
- MacCrimmon, K. R. 1968. Decision making among multiple attribute alternatives: A survey and consolidated approach, RAND Memorandum, RM-4823-ARPA. 70 p.
- Motuziene, V. and Vilutienė, T. Modelling the Effect of the Domestic Occupancy Profiles on Predicted Energy Demand of the Energy Efficient House. Procedia Engineering 57, 2013, 798–807.

NorthPass 2010. *Energy-demand levels and corresponding residential concept houses and the specific challenges of very low-energy houses in colder climates*, 51 p.

NorthPass 2011. *Important design aspects of a very low-energy building*, 43 p.

STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“.

Tylock, S. M., Seager, T. P., Snell, J., Bennett, E. R., Sweet, D., 2012. Energy management under policy and technology uncertainty, Energy Policy 47: 156–163

Very Low-Energy House Concepts in North European Countries, Project report. NorthPass – Promotion of the Very Low-Energy House Concept to the North European Building Market, Project No. 08/480/SI2.528386. 2011, 34 p.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. Multiple criteria evaluation of buildings. Vilnius: Technika.

Zavadskas, Edmundas Kazimieras; Turskis, Zenonas. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. Technological and economic development of economy: Baltic journal on sustainability. Vilnius : Technika. ISSN 1392-8619. Vol 16, no 2 (2010), p. 159-172.

ENERGY – EFFICIENT BUILDING MODELLING

R. Šimaitis, T. Vilutienė

Abstract

Article assesses the impact of economic, energy and environmental criteria on sustainability of solutions for building renovation. Several alternatives were simulated with help of DesignBuilder software package. The values of complex economic, architectural, energy and environmental criteria were calculated using SISTELA, SimaPro ir DesignBuilder software packages. The priority order of alternatives and rational solutions were determined with application of multiple criteria analysis.

Keywords: Energy saving, energy efficient houses, modeling, DesignBuilder.